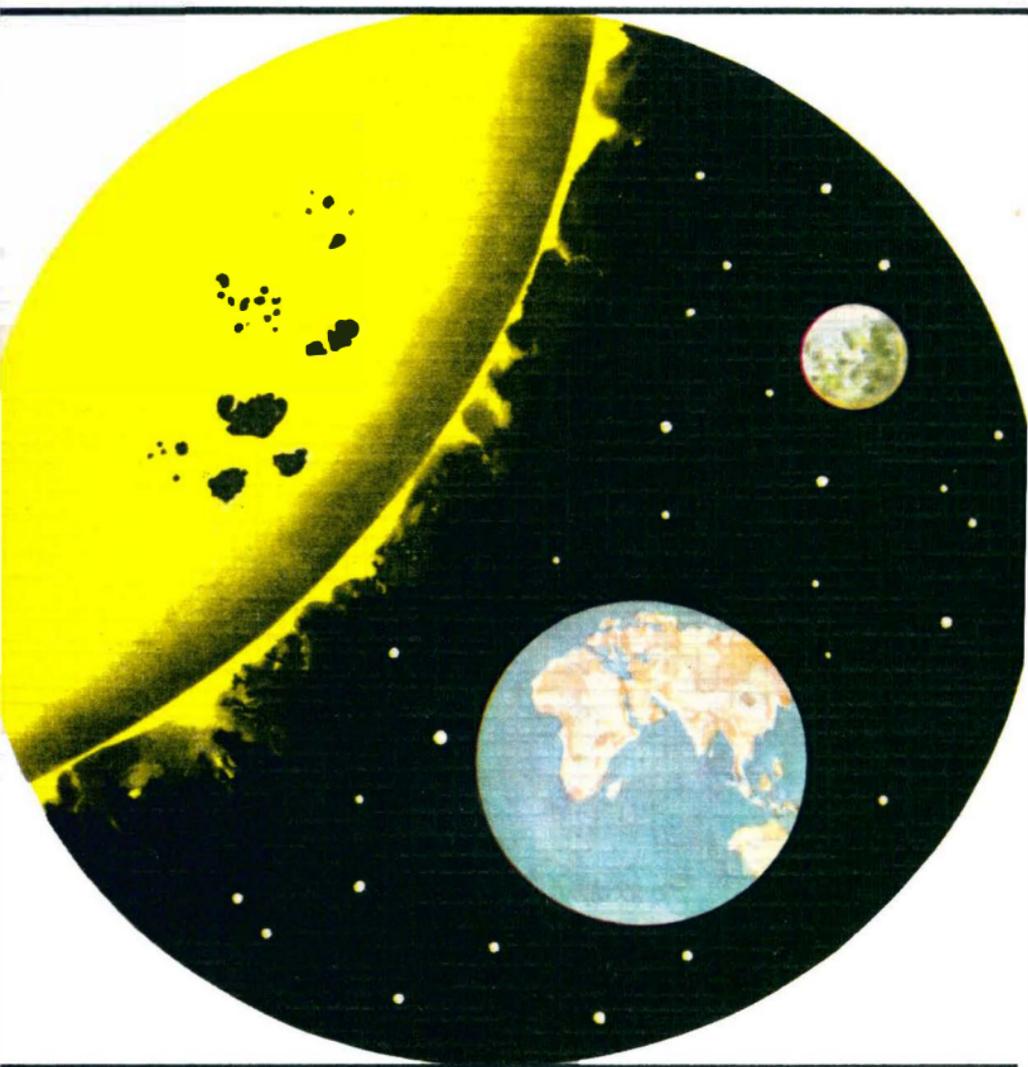




Christian Friedemann

Leben wir unter kosmischen Einflüssen?





Christian Friedemann

**Leben wir unter
kosmischen Einflüssen?**

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Autor: Dr. Christian Friedemann,
Friedrich-Schiller-Universität, Jena

Illustrationen: Karl-Heinz Barnekow

2. Auflage 1978

21.–40. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

© Urania-Verlag, Leipzig/Jena/Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, 1976

VLN 212–475/100/78. LSV 1439

Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle

Typografie: Hans-Jörg Sittauer

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb

Leipzig – III/18/97

Best.-Nr.: 653 406 7

DDR 4,50 M



Fotos: Ch. Friedemann, Jena (115); K. Kaila, Helsinki (6, 91);
Aus: C. Flammarion, Himmelskunde für das Volk. Neuenburg o. J.
(10); Sternwarte Meudon (59); W. Heß, Himmels- und Natur-
erscheinungen des XV.–XVIII. Jhs., Leipzig 1911 (14); C. Ren-
schen, Dresden (18, 19, 23); V. A. Krat, Astronomisches Haupt-
observatorium Pulkowo, Leningrad (63); Zentralinstitut für
solar-terrestrische Physik, Sonnenobservatorium Einsteinurm,
Potsdam (61); High Altitude Observatory, Boulder, Colorado
(68); Fraunhofer Institut, Freiburg i. Br. (65)

Inhalt

Einleitung 7

Das Erbe der babylonischen Priester-
astronomen 9

Umschau unter den Himmelskörpern 21

Die Natur der kosmischen Einflüsse 27

Einige Eigenschaften der Sonnenstrah-
lung 31

Die Schutzhülle unserer Erde 33

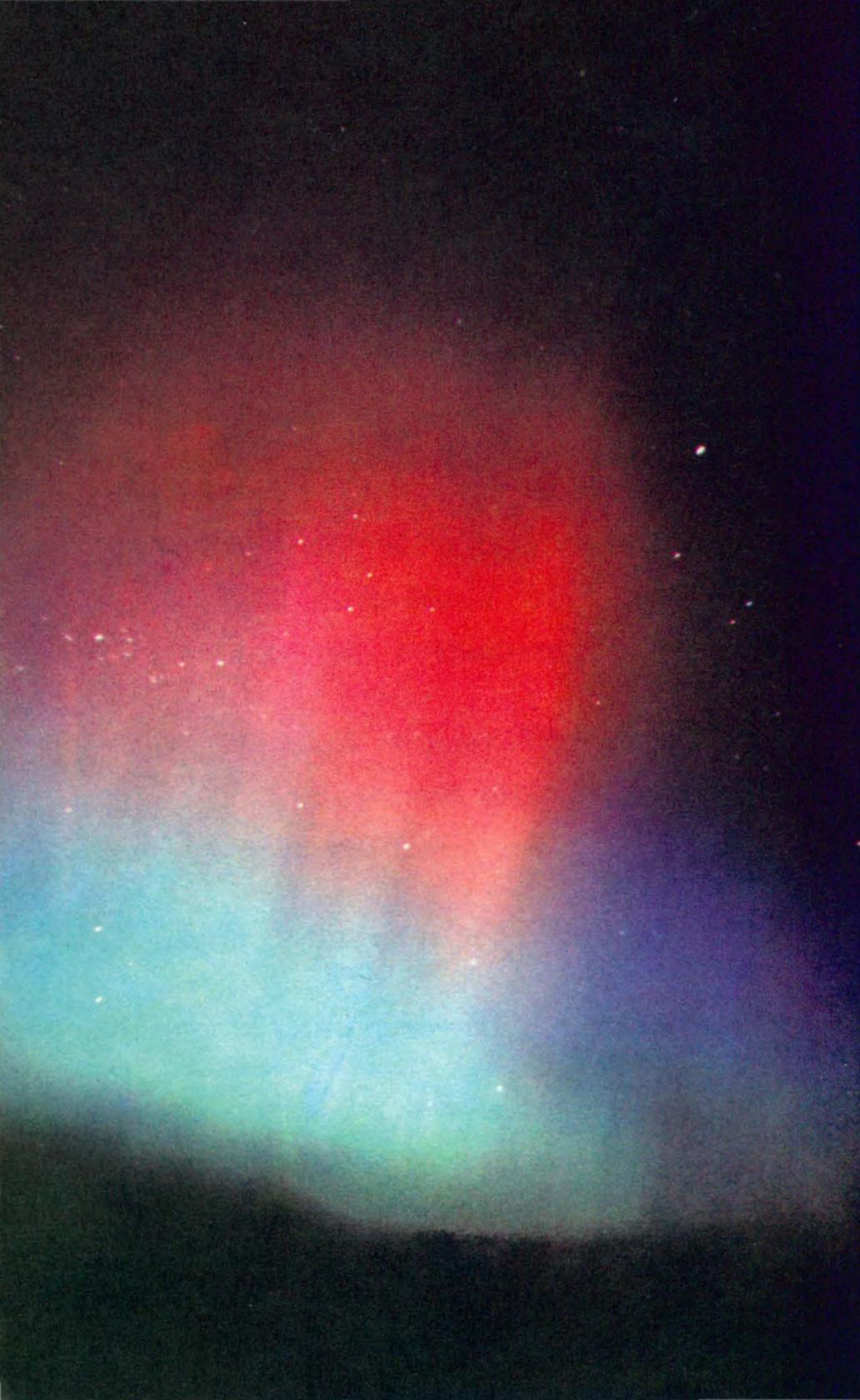
Die Einflüsse des Mondes 39

Die Vielfalt der Erscheinungen auf der
Sonne 58

Die Wirkungen der solaren Störungen
auf der Erde 75

Die Welt der Lebewesen unter kosmischen
Einflüssen 108

Rückblick 127



Einleitung

Der mögliche Einfluß der Gestirne auf das irdische Leben hat die Menschen stets zu Fragen angeregt. Für die alten Kulturvölker des Vorderen Orients mit ihrer Sternreligion verband sich mit der Frage nach Gestirneinflüssen ein elementares Glaubensinteresse, den Willen der Götter zu ergründen. Dagegen ist für uns – um einen gewaltigen Sprung in die Gegenwart zu machen – der Komplex kosmischer Einflüsse ein Gegenstand ernsthafter wissenschaftlicher Forschung.

Die Frage, ob wir unter kosmischen Einflüssen stehen, ist unbedingt zu bejahen – überzeugendster Beleg dafür ist die Existenz von Leben auf der Erde. Ohne den über Jahrmilliarden praktisch unveränderlichen Energiestrom von der Sonne hätte sich auf unserem Heimatplaneten kein organisches Leben bilden und weiterentwickeln können.

Doch meist denken wir, wenn von kosmischen Einwirkungen die Rede ist, an Störeinflüsse, die dem ständig aus dem Weltraum einfallenden und fast ausschließlich von der Sonne stammenden Energiestrom überlagert sind.

Auf die Störstrahlung und ihre Wirkungen konzentrieren sich auch die Ausführungen in den folgenden Abschnitten. Dabei gilt als ein wesentliches Kriterium für die Realität derartiger kosmischer Einflüsse vorrangig ihr objektiver Nachweis mit dafür geeigneten Meßgeräten. Sie vereinigen in sich gegenüber den menschlichen Sinnesorganen drei entscheidende Vorteile. Einmal sind Meßinstrumente

Dieses Nordlicht wurde am 7. März 1972 in Sammatti (Finnland) beobachtet. Die rote Farbe entsteht durch das Leuchten von Stickstoffatomen in der Hochatmosphäre.

empfindlicher als unsere Sinnesorgane. Zweitens vermitteln Meßapparaturen noch »Eindrücke« von physikalischen Vorgängen, für die die menschlichen Sinne »taub« sind, und drittens besitzen die Meßgeräte dem Menschen gegenüber den entscheidenden Vorteil, daß sie »unbestechlich« bestimmte physikalische Eindrücke aufnehmen und quantitativ anzeigen können. Selbstverständlich unterscheiden sich die speziellen Nachweismethoden der verschiedenen Fachdisziplinen voneinander, aber – und das ist das Entscheidende – jedes Meßverfahren und alle Tests liefern, wenn auch mit den unvermeidlichen Fehlern, objektiv nachprüfbar Ergebnisse.

Mit der Behandlung der interessanten und aktuellen Thematik verbindet sich auch die Absicht, sie von den letzten Resten mystischer Vorstellungen zu befreien. Eine vollständige Beschreibung der gesicherten, angedeuteten und vermuteten kosmischen Einflüsse war allein schon aus Platzgründen nicht möglich. Darüber hinaus mußten manche Sachverhalte in mehr oder weniger vereinfachte Modelle umgesetzt werden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, allen, die durch Hinweise und Diskussionen gestaltenden Anteil am Inhalt des Buches hatten, an dieser Stelle zu danken. Mein spezieller Dank gilt in dieser Hinsicht den Herren Prof. Dr. F.W. Jäger vom Zentralinstitut für solar-terrestrische Physik bei der Akademie der Wissenschaften der DDR, Dr. F. Jungnickel von der Sektion Biologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Prof. Dr. R. Lauterbach von der Sektion Physik, Fachbereich geophysikalische Erkundung und Geologie, der Karl-Marx-Universität Leipzig, Dr. H. Kauf von der Sektion Physik, Arbeitsgruppe Meteorologie, der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Dr. habil. K.-H. Schmidt vom Zentralinstitut für Astrophysik der Akademie der Wissenschaften der DDR und Dr. W. Thoss vom Carl-Ludwig-Institut für Physiologie der Karl-Marx-Universität Leipzig. Herrn Photographenmeister Schörlitz von der Hochschul-Film- und Bildstelle der Friedrich-Schiller-Universität Jena danke ich für die Anfertigung einiger Reproduktionen. Die Farbaufnahmen der Nordlichter stellte freundlicherweise Herr Kari Kaila, Helsinki, zur Verfügung.

Das Erbe der babylonischen Priesterastronomen

Wie aus überlieferten Dokumenten des Altertums hervorgeht, ist die Astronomie eine der ältesten Naturwissenschaften. Ein wesentlicher Grund dafür mag die Tatsache sein, daß die vor einigen tausend Jahren lebenden Menschen über die Erscheinungen der sie umgebenden Natur bedeutend mehr beeindruckt waren als wir.

Einen Geburtsort für die Astronomie zu nennen ist nicht möglich, da es eine ganze Anzahl von astronomisch bedeutungsvollen frühgeschichtlichen Zentren auf mehreren Erdteilen gibt. Begünstigend für die Herausbildung der Astronomie an jenen Orten war sicher auch der klimatische Komfort, der dort herrschte. Die betreffenden Gebiete zeichnen sich meist durch stationäre Hochlagen aus, die die Gewähr langdauernder Schönwetterperioden mit guten Beobachtungsmöglichkeiten boten.

Ein weiteres Ergebnis wissenschaftshistorischer Untersuchungen war, daß sich die Astronomie zu verschiedenen Zeiten herausgebildet hat. Wir dürfen annehmen, daß vor 4000 bis 5000 Jahren die Weiterverbreitung einfacher wissenschaftlicher Kenntnisse von Erdteil zu Erdteil sehr eingeschränkt war, so daß sich die Astronomie der getrennt lebenden alten Kulturvölker praktisch unabhängig voneinander entwickelte.

Bedingt durch unsere geographische Lage wurde die Astronomie der Babylonier und ihrer Vorgänger, der Sumerer, für uns wegweisend. Daher können wir uns im Rahmen eines kleinen geschichtlichen Abstechers auf diesen Kulturkreis beschränken.

Bei der Beschäftigung mit den Anfängen der Astronomie muß man beachten, daß der strenge Begriff Astronomie in

unserem heutigen Sinne damals nicht existierte. Himmelskunde schloß damals die Religion, das Gebiet des Glaubens ein, sie war selbst Staatsidee, Staatsreligion. Die Babylonier besaßen eine Sternreligion, sie verehrten einige Gestirne als Gottheiten, und es war für sie ganz natürlich, diese Gestirne am Himmel zu beobachten, um aus Anzeichen auf die Absichten der Götter zu schließen. Diese Aufgabe lag verständlicherweise in den Händen der Priester. Folgerichtig wurden im Laufe der Zeit besondere Erscheinungen am Himmel mit Ereignissen auf der Erde verknüpft und als Winke der Götter angesehen. Besonders eifrig beobachtete man die Sonne, den Mond und die Planeten Venus, Mars und Jupiter. Jupiter wurde »Stern des Gottes Marduk« (Weltschöpfer, Gott des Lichtes) genannt, Venus war der »Stern der Liebesgöttin Ishtar«, und Mars wurde mit dem Kriegsgott Nergal identifiziert.

Leider sind aus der Anfangszeit der Astronomie keine direkten Aufzeichnungen überliefert, die etwa über die genaue Geburtsstunde der Astronomie im Vorderen Orient Auskunft geben könnten.

So sind wir nur auf Schätzungen angewiesen, nach denen man der Astronomie ein Alter von etwa 5000 Jahren zubilligt. Erst aus einer viel späteren Zeit sind Tontafelaufzeichnungen gefunden worden, die astronomische Beobachtungen und astrologische Deutungen enthalten. Der älteste bekannte astronomische und astrologische Text stammt aus der altbabylonischen Zeit, etwa 1800 Jahre v. u. Z. Dieser Text enthält einige Prognosen, die sich auf den Mondlauf und den Zustand des Himmels am Anfang des neuen Jahres beziehen. Es heißt darin unter anderem:

»Wenn das Antlitz des Himmels beim Erscheinen des neuen Mondes hell ist und man ihn mit Jubel begrüßt, wird das Jahr gut.

Wenn über das Antlitz des Himmels vor Neumond der Nordwind weht, wird das Getreide gedeihen.«

Es ist verständlich, daß für die astrologischen Voraussagen möglichst genaue Beobachtungen des Himmels gefragt waren. Das bedeutet aber, daß in dieser Entwicklungsphase des Konglomerats aus Sternreligion und Astronomie die Beobachtungstätigkeit bewußt gefördert und damit die Entwicklung der Astronomie zwangsläufig vorangetrieben

wurde. Die Urmengen von astronomischen Beobachtungen und astrologischen Prognosen sind in einer Art Handbuch, der Omensammlung »Enuma Anu Enlil« enthalten. Diese Sammlung stammt aus der klassischen Epoche der Omen-Astrologie, die ungefähr in den Zeitraum 1400 bis 900 v. u. Z. fällt. Man schätzt aus den erhalten gebliebenen Teilen der Omenserie, daß sie ursprünglich rund 7000 Omen umfaßte, deren Auslegung den Hofastrologen oblag. Aus der Fülle der verschiedenartigen Omen sollen einige willkürlich herausgegriffen werden:

»Wenn Mars sich dem Stern SU.GI nähert, wird Aufstand in Amurru (Westteil des akkadischen Reiches, Ch. F.) und Feindschaft sein; einer wird den anderen umbringen ... Wenn Venus hoch steht, dann Glück der Begattung ... Wenn Venus in ihrem Standort steht, Aufstand der feindlichen Heeresmacht, Fülle der Frauen im Lande ...«

Daraus wird ersichtlich, daß die babylonische Sterndeutung wesentlich auf der Sternreligion beruhte. Weil eben der Mars der Stern des Kriegsgottes Nergal war, zeigte er Krieg und Verwüstung an. Da Venus zur Göttin Ishtar gehörte, brachte man die Stellung des Planeten Venus am Himmel mit Liebe, Ehe und Fruchtbarkeit in Verbindung. Wahrscheinlich gingen die Omen auf gewisse Erfahrungen zurück und beruhen auf der Verknüpfung besonderer Himmelserscheinungen mit etwa gleichzeitig aufgetretenen Ereignissen, die für die damaligen Völker wichtig waren. Außerdem war der den Omen zugrunde liegende Leitgedanke die religiöse Vorstellung, daß die Himmelsgötter das Leben der Menschen beherrschen.

Es lohnt sich, noch etwas bei den alten Voraussagen zu bleiben und ein weiteres Beispiel zu zitieren. Der folgende Bericht macht deutlich, wie eng die Staatsführung in einzelnen Fällen von den astrologischen Voraussetzungen abhing, denn anders ist dieses Horoskop wohl nicht zu verstehen:

»Venus ist im Westen im Wege der Sterne des Enlil sichtbar geworden. Folgendes ist die Deutung davon: Wenn Venus im Monat Simanu sichtbar wurde, Niederwerfung des Feindes. Wenn Venus im Wege der Sterne des Enlil sichtbar wurde, wird der König von Akkad keinen ebenbürtigen Gegner erhalten ...«

Dieser Bericht war für den von 680 bis 669 v. u. Z. regierenden König von Akkad bestimmt. Von ihm wurde eine ganze Anzahl solcher Horoskope angefordert, die darauf schließen lassen, daß er besonders stark dem Sternglauben anhing. Das für uns heute noch Interessante an den Rapporten ist ihr astronomischer Gehalt, der – wie das letzte Beispiel zeigt – zuerst mitgeteilt wird, ehe die Auslegung auf der Grundlage der bereits erwähnten großen Omensammlung »Enuma Anu Enlil« erfolgt. Aus dem astronomischen Teil der Horoskope lassen sich nämlich wichtige Rückschlüsse auf das astronomische Wissen dieser Zeit ziehen.

In dem Maße, wie die Nachfrage nach Geburtshoroskopen im alten Babylon anwuchs, mußten die astronomischen Beobachtungen verstärkt werden, damit man für jeden gewünschten Zeitpunkt die Stellung der wichtigsten Gestirne (Sonne, Mond, Planeten) untereinander und in bezug auf die Tierkreiszeichen zur Hand hatte. Um auch für die Berechnung von Horoskopen von Taggeburten und für diejenigen Tage, an denen schlechtes Wetter herrschte, gerüstet zu sein, entwickelten die babylonischen Hofastrologen spezielle Rechenmethoden, mit denen sie die gesuchten Positionen der Gestirne ableiten konnten.

Die Bearbeitung des umfangreichen Beobachtungsmaterials führte zur Entdeckung sich periodisch wiederholender Vorgänge wie etwa der Sonnen- und der Mondfinsternisse. Dadurch war die Grundlage für theoretisch begründete Voraussagen von bestimmten Ereignissen am Himmel gegeben. Mit diesem Wissen war es z. B. Thales von Milet möglich, eine Sonnenfinsternis für den 28. Mai des Jahres 585 v. u. Z. vorauszusagen.

Wie der berühmte griechische Geschichtsschreiber Herodotos (484–425 v. u. Z.) berichtet, fand während der Schlacht am Halys (antiker Name des Flusses Kisil-Irmak in der Türkei, Ch. F.), bei der sich die Heere des Königs Aliathes von Lydien und des Mederkönigs Kyaxares gegenüberstanden, eine Sonnenfinsternis statt. Unter dem Eindruck der totalen Verfinsternung unseres Tagesgestirns soll es zum Friedensschluß zwischen beiden Heeren gekommen sein. Es wird allgemein angenommen, daß es sich bei diesem Ereignis um die »Thalesfinsternis« handelt

hat. Die Vorhersage der Finsternis brachte Thales großen Ruhm ein, denn was er aufgrund der vorhandenen Kenntnisse von der periodischen Aufeinanderfolge von Finsternissen und seiner eigenen Fähigkeiten folgerichtig vorausgesagt hatte, mußte für die breiten Volksschichten als ein Wunder erscheinen. Zur damaligen Zeit dominierte die Vorstellung, bei einer Sonnenfinsternis werde die Sonne von einem Drachen verschluckt. Um ihn zu vertreiben, vollführte man einen unbeschreiblichen Lärm, schoß sogar nach der Sonne, um die verschwundene Gottheit zu befreien. Der Erfolg dieser »Maßnahmen« konnte nicht ausbleiben, weil der wahre Grund der Verfinsterung, wie wir schon lange wissen, ein ganz anderer ist. Er beruht auf der geometrischen Abschattung der Sonne durch den Mond bei einer geeigneten Stellung der beteiligten Himmelskörper zueinander.

Aus den verschiedenen erhalten gebliebenen Quellen läßt sich rekonstruieren, wie sich die babylonische Horoskopastrologie und die Rechenmethode zur Aufstellung von Horoskopen mindestens ab 440 v. u. Z. über die ganze antike Welt verbreiteten. Die griechischen Astronomen übernahmen die babylonischen Beobachtungsergebnisse und Rechenmethoden und schufen daraus das Gebäude der geometrischen Astronomie, das sich in der Folgezeit zusammen mit der Astrologie über ganz Europa ausdehnte.

Allgemein erfuhr die Astronomie im Altertum eine Förderung durch die Astrologie, da durch die babylonische Sternreligion ein grundlegendes gesellschaftliches Interesse an astronomischen Beobachtungen bestand. Aus der religiösen Vorstellung heraus entwickelten sich die Vorstellungen über eine Vorhersagbarkeit des menschlichen Schicksals. Einzelne, sicherlich mehr gefühlsmäßige Zweifel an der Richtigkeit dieser Anschauung hat es aber gegeben, denn bei Cicero findet sich die folgende aufschlußreiche Textstelle:

»Eudoxus hat geschrieben, daß man den Chaldäern in ihren Voraussagen und Aussagen über das Leben der Menschen aus dem Tage seiner Geburt nicht im mindesten glauben soll.«

Diese richtige Ansicht des berühmten griechischen Astronomen, Mathematikers und Arztes war sicher seiner

Ein erschrocklich wunderzeichen / von zweyen Erbdidemen /
welche geschehen sind zu Rossauna vnd Constantinopel -
Im R. D. E. vj. Jar.



Teilwiedergabe eines bemalten Holzschnittes aus dem Jahre 1556. Er zeigt über der durch die Erdbeben vom 10. – 13. Mai 1556 zerstörten Stadt Konstantinopel einen großen Kometen, der in der Zeit vom 5. – 16. März sichtbar gewesen sein soll. Oben rechts ist eine offenbar auch sichtbar gewesene Sternkonstellation dargestellt. Offensichtlich wurden die Kometenerscheinung und die Sternkonstellation in einen ursächlichen Zusammenhang mit den Erdbeben gebracht.

Zeit zu weit voraus, um allgemein erkannt und akzeptiert zu werden.

Ganz bewußt ist bis jetzt das religiöse Bedürfnis, Himmelskunde zu treiben, in den Vordergrund gerückt worden, weil es das primäre ist. Der Vollständigkeit halber muß aber ergänzt werden, daß im Laufe der Zeit auch rein praktische Gründe entstanden, sich mit der Astronomie zu befassen. Die im Altertum aufkommende Reisetätigkeit auf dem Wasser und zu Lande setzte einfach astronomische Na-

vigationskenntnisse voraus, wenn man nicht ein Fiasko erleiden wollte. Auch für die Aufstellung von Kalendern waren astronomische Kenntnisse erforderlich.

Gegen Ende des Mittelalters, um einen gewaltigen Zeitsprung zu machen, tauchten in der Öffentlichkeit erstmalig die sogenannten Einblattdrucke auf, in denen die Menschen durch Wort und Bild über besondere Vorkommnisse unterrichtet wurden. Sie stellen einen Vorläufer unserer Zeitungen dar. Unter den behandelten Themen finden sich auch viele Berichte über außergewöhnliche Erscheinungen am Himmel. Neben rein sachlich gehaltenen Berichterstattungen gibt es sehr mystifizierte Beschreibungen. Die Verfasser solcher Texte dürften vor allem darauf bedacht gewesen sein, den Mitmenschen ihr offensichtliches Fehlverhalten – gemessen an den damals geltenden Verhaltens- und Glaubensnormen – aufzuzeigen.

Wie die meisten Texte der Einblattdrucke etwa angelegt sind, läßt sich aus dem folgenden Beispiel entnehmen. Der verhältnismäßig kurze Bericht stammt aus dem Jahre 1675 und beschäftigt sich mit einer Kometenerscheinung. Zunächst wird mitgeteilt, worum es bei der Himmelserscheinung geht, dann folgen die Deutung und die Verhaltensmaßregeln.

»Göttlicher Buß-Wecker / oder feurige Straff-Ruthe / so sich den 31sten Oct. Stil. Vet dieses zu End lauffenden 1675. Jahrs / zu Neustadt an der Haart / Morgens um 5. Uhr gegen Landau einer Ellen breit und einer Pigven lang / mit Erstaunen aller die es gewar worden erzeiget.

Was die GOTTes Feuer-Ruthen
die Cometen zeigen an /
sieht bereit ein jeder Mann /
Bey so harten Krieges-Wuthen.
Solcher Liechter Feuer-Haare /
ziehen schwere Zeiten nach
Hunger / Sterb / und andre Plag /
Kriegs-Geschrey und Krieger-Schaare.
Dann sie weisen wenig Guts /
doch ihr Christen gutes Muths!
Last uns so das Ziel verstecken:
Last mit Beten uns zusammen
treten / wie uns mahn't bereit

unsre liebe Obrigkeit /
So wird GOTTes Zornes-Flammen
Sich von uns in Gnaden wenden /
und die krause Feuer-Ruth /
wider unsrer Feinde Wuth
Kehren / und uns Friede senden.«

An astronomisch-meteorologischen Ereignissen sind es vor allem kurzdauernde Leuchterscheinungen – wahrscheinlich Polarlichter, Lichthöfe um Sonne und Mond –, Meteoritenfälle und Kometen, die damals Aufmerksamkeit erregten. Wie die überlieferten Berichte erkennen lassen, müssen die hellen Kometen einen besonders tiefen Eindruck hervorgerufen haben. Nicht umsonst wurden sie als »Zuchtruten« Gottes bezeichnet und mehr beachtet und gefürchtet als alle anderen »Wunderzeichen« am Himmel. Die große Angst vor den Kometen rührte vor allem davon her, daß man sie für Körper hielt, die sich in der Atmosphäre der Erde befanden. So sollten ihre Dünste das Wasser in den Brunnen vergiften. Daher wurden zur Abwendung des drohenden Unheils die Brunnen abgedeckt und die Menschen zu Bittgebeten aufgerufen. Sie mußten nach damaliger Ansicht Erhörung gefunden haben, da sich die Kometen jedesmal wieder entfernten. Tatsächlich sind sie Himmelskörper, die außerhalb der irdischen Atmosphäre und mehr oder weniger weit entfernt von der Erde nach den universell gültigen Bewegungsgesetzen ihre Bahnen um die Sonne ziehen.

Große publizistische Aktivität rief eine für den 21. Februar 1524 prophezeite »große Wässerung« hervor. Nach den Ansichten der zeitgenössischen Astrologen soll die Sichtbarkeit des Tierkreiszeichens Fische am Himmel Regen anzeigen. Kommt es dabei noch zu einer Konjunktion – einer benachbarten Stellung – der Planeten Jupiter und Saturn und eventuell noch weiterer Planeten in diesem Sternbild, dann sollten die zu erwartenden Regengüsse geradezu verheerend sein. Eine solche Konstellation der Planeten wurde von einem damals bekannten Astrologen vorausberechnet und 1499 veröffentlicht. In der Folgezeit entstand eine ungeheure Aufregung unter den Menschen. So wird unter anderem berichtet, daß in Frankreich auf Verlangen der Bevölkerung Archen gebaut wurden. Man

brachte Lebensmittelvorräte an hochgelegene Orte, um der befürchteten Hungersnot zu entgehen. Der Bürgermeister von Magdeburg traf seine Vorbereitungen für den Unglückstag mit weltmännischer Gelassenheit, indem er sich einen angemessenen Vorrat an Bier auf den Söller seines Hauses bringen ließ. Als dann der jahrelang gefürchtete Tag kam, herrschte freundliches sonniges Wetter vor – die Sintflut fand nicht statt.

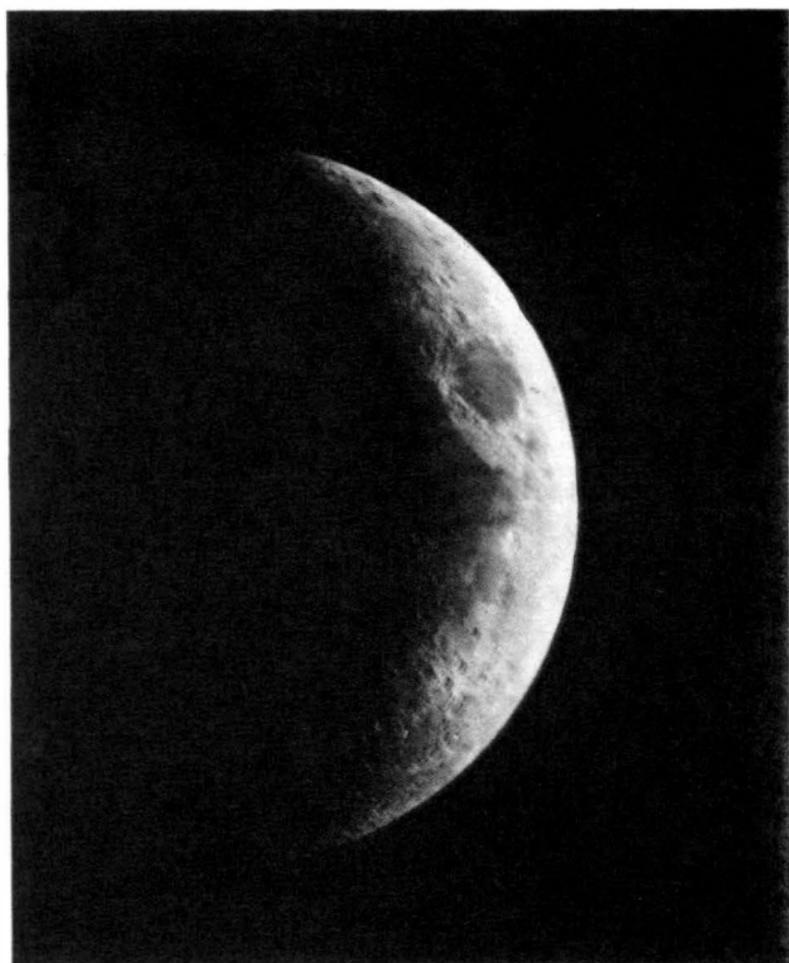
Für uns ist die Tatsache bemerkenswert, daß durch solche »Fehlschläge« bei astrologischen Voraussagen weder das Ansehen des Astrologen, auf den die Aufregung ja zurückging, noch die Astrologie selbst in Mißkredit gerieten. Die Argumentation von damals dürfte aber auf der Hand liegen: Gott war durch die vielen Gebete der Gläubigen bewogen worden, das bevorstehende Unglück abzuwenden, und dem Astrologen, der auf das Ereignis aufmerksam gemacht hatte, war man sogar Dank schuldig, da auf seine Worte hin das Volk wieder zum rechten Glauben fand und heiße Gebete zum Himmel schickte.

Martin Luther äußerte sich später zu der eben erwähnten Sintflut. Er spottete »... über die Narrheit der Sternkümer, die von einer Sünthflut oder großen Wässerung gesagt, so Anno 1524 kommen sollte, das doch nicht geschach...« Allerdings dürfte seine Ansicht einen der wenigen Ausnahmefälle darstellen, die der allgemeinen Haltung zu den postulierten kosmischen Einflüssen entgegenstanden.

Wie tief der vermutete Zusammenhang zwischen Kosmos und Mensch im Glauben und Denken des 16. und 17. Jahrhunderts verwurzelt war, verdeutlichen vielleicht am besten einige Bemerkungen über den berühmten Astronomen Johannes Kepler. Als Fünfundzwanzigjähriger berechnete er praktisch auf die Minute genau die Zeitpunkte seiner Empfängnis (!) und seiner Geburt. Die Exaktheit, mit der er diese Angaben macht, weisen darauf hin, daß sie für astrologische Zwecke bestimmt waren. Das bedeutet aber, daß sich Kepler zur Zeit ihrer Niederschrift offensichtlich von der Astrologie angezogen fühlte. Erst später trennte er sich von ihrem ursprünglichen Gedankengut. Die allgemeinere Idee von einer Harmonie des Kosmos und der Menschen beherrschte Kepler wie auch andere Gelehrte seiner Zeit sein ganzes Leben lang. So

waren etwa die Kreisbahnen, in denen sich die Planeten um die Sonne bewegen sollten, gewissermaßen eine Anleihe an das antike Schönheitsideal. In dieser idealen geometrischen Figur wie im Auftreten bestimmter Zahlenver-

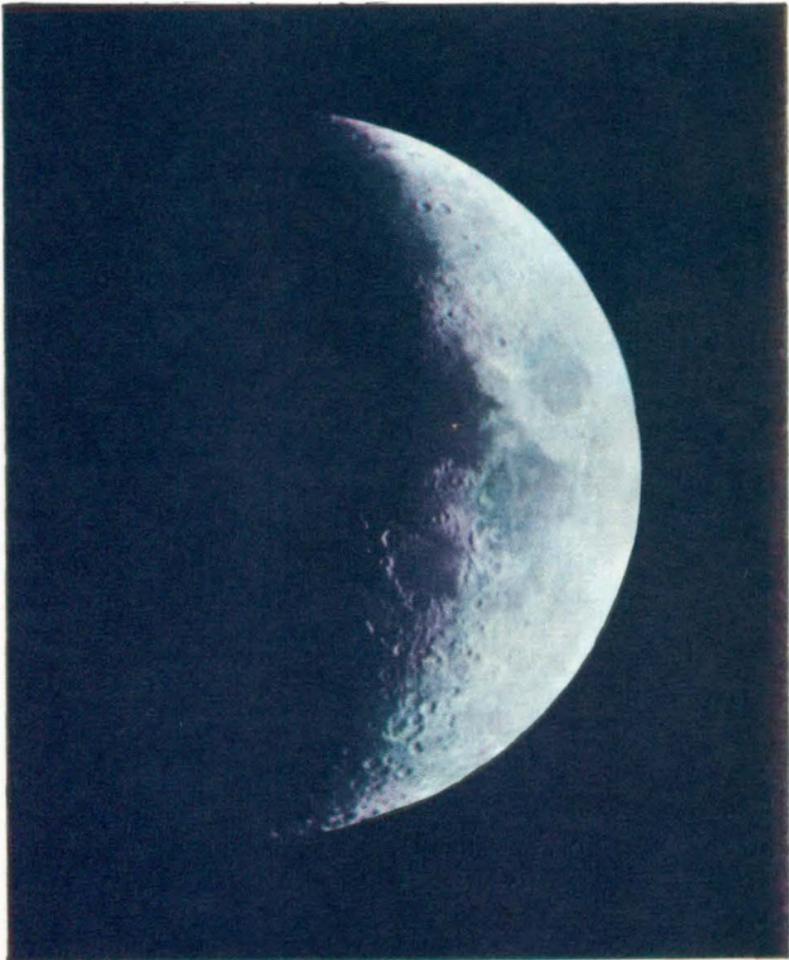
Der Mond ist verglichen mit der Erde ein kleiner und massearmer Körper. Sein Durchmesser beträgt nur etwa $\frac{1}{4}$ des Erddurchmessers und seine Masse rund $\frac{1}{81}$ der Erdmasse. Die ständig wechselnden Lichtgestalten des Mondes zogen schon in frühester Zeit die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich. Von den vielfältigen, angeblich vom Mond ausgehenden Einflüssen sind nach den exakten Analysen nur die wenigsten reell. Der bedeutendste lunare Einfluß ist die Gezeitenkraft.



hältnisse sah man eine Verwirklichung göttlicher Prinzipien.

Die jahrtausendlang eingeschliffene Vorstellung von der im Mittelpunkt des Weltalls stehenden Erde, die nach den Sternreligionen dem Willen der Götter schutzlos ausgesetzt war, konnte nicht auf einen Schlag durch ein neues, wissenschaftlich fundiertes Weltbild ersetzt werden, in dem für die Astrologie kein Platz mehr war. In Anbetracht der gesellschaftlichen Umstände und des Erkenntnisstandes der Naturwissenschaften ist es nicht verwunderlich, daß sich Reste des alten Sternglaubens, der Astrologie, bis in die Neuzeit erhalten haben.

Bis in die Gegenwart hinein wurde sehr viel Mühe aufge-



wendet, um die Unwissenschaftlichkeit der Astrologie aufzuzeigen. Wir wollen uns hier nur mit den allgemeinsten Einwänden beschäftigen, die die Astrologie an der Wurzel treffen. Es geht dabei um die entscheidende Frage, auf welche Weise die Menschen von der Art der von den Gestirnen ausgehenden Einflüsse Kenntnis erhielten. Wie man rekonstruieren konnte, wurden die Eigenschaften, wie z. B. gut und böse, den verschiedenen Gestirnen von den Menschen selbst zugeschrieben. In diesem Sinne sind alle Wertungen, die die Astrologie macht, durchaus Aussagen irdischen Ursprungs, denen nichts Übernatürliches anhaftet. Der wesentliche Grund für die Existenz eines Stern Glaubens liegt in der damals angenommenen Sonderstellung der Erde, die sich im Mittelpunkt des Kosmos befinden sollte. Außerdem bestanden damals keine richtigen Vorstellungen über die tatsächlichen Entfernungen der Gestirne von der Erde. Berücksichtigt man alle diese Umstände wie auch die gesellschaftlichen Verhältnisse, so wird es uns verständlich, daß im alten Babylon das astrologische Gedankengut zu hoher Blüte gelangen konnte.

Die Begründung des heliozentrischen Weltbildes durch Nicolaus Copernicus vor rund einem halben Jahrtausend war mehr als eine formale Vertauschung der Stellung von Erde und Sonne im All. Mit ihr fiel auch der astronomische Grundpfeiler der Astrologie. Wer auch heute noch astrologische Ambitionen besitzt, der sollte sich darüber klar sein, daß er einem grandiosen Anachronismus huldigt, indem er Ideen nachhängt, deren Unrichtigkeit längst erwiesen ist.

Wägt man ab, welche Rolle die Astrologie in der Geschichte der Astronomie gespielt hat, so muß man feststellen, daß durch die Sternreligion im Altertum das Interesse am Beobachten von Himmelsereignissen ständig wach gehalten wurde. Damit aber eröffnete sich die Möglichkeit zu echten Entdeckungen bei der Betrachtung der Gestirne und auch in theoretischer Hinsicht.

Es ist nicht unser Anliegen, im Anschluß an die kritische Auseinandersetzung mit der Astrologie nun die geschichtliche Entwicklung der Wissenschaft Astronomie zu verfolgen. Was uns hier interessiert, das sind die exakten Kenntnisse über die Himmelskörper, die Generationen von Astronomen zusammengetragen haben.

Umschau unter den Himmelskörpern

Die bisher ganz allgemein verwendeten Bezeichnungen »Himmelskörper« oder »Gestirn« müssen nun etwas näher erläutert werden. Wir verstehen darunter im engeren Sinne alle Sterne, die Sonne sowie sämtliche Mitglieder des Sonnensystems. Mit dieser Aufzählung sind jedoch die Daseinsformen der Materie im Kosmos noch nicht erschöpft. Allein schon von ihrem Aggregatzustand her lassen sich die Himmelskörper in feste und gasförmige einteilen. Dabei werden die festen unter ihnen je nach ihrer Ausdehnung als große Planeten, kleine Planeten, Meteoriten oder Mikrometeoriten bezeichnet. Alle aufgezählten Körper sind Mitglieder unseres Sonnensystems. Es gibt aber auch Anzeichen dafür, daß um andere Sterne gleichfalls planetenähnliche, also feste Körper kreisen. Wie andere Beobachtungen verraten, befinden sich selbst im Raum zwischen den Sternen Festkörper, die aber größtenteils mikroskopisch klein sind. Für diese Kleinkörper wurde der Ausdruck »interstellarer Staub« geprägt.

In unserem Sonnensystem sind bis jetzt außer der Erde acht weitere große Planeten bekannt. Charakteristisch ist, daß sämtliche Massen im Vergleich zur Sonnenmasse sehr klein sind. Die Mehrzahl der Planeten ist von einer Atmosphäre umgeben, ihre Oberflächen – vielleicht mit Ausnahme der des Jupiters – sind fest. Bei den größeren Planeten steigen unter der festen Oberfläche Druck und Temperatur beim Übergang zu den mittelpunktsnahen Gebieten vermutlich so an, daß sich ihr Inneres in einem glutflüssigen Zustand befindet. Seismologische Untersuchungen der Erde ergaben unter anderem, daß ihre Kruste eine Dicke von nur 5 bis 10 km unter den Meeresböden und 20 bis

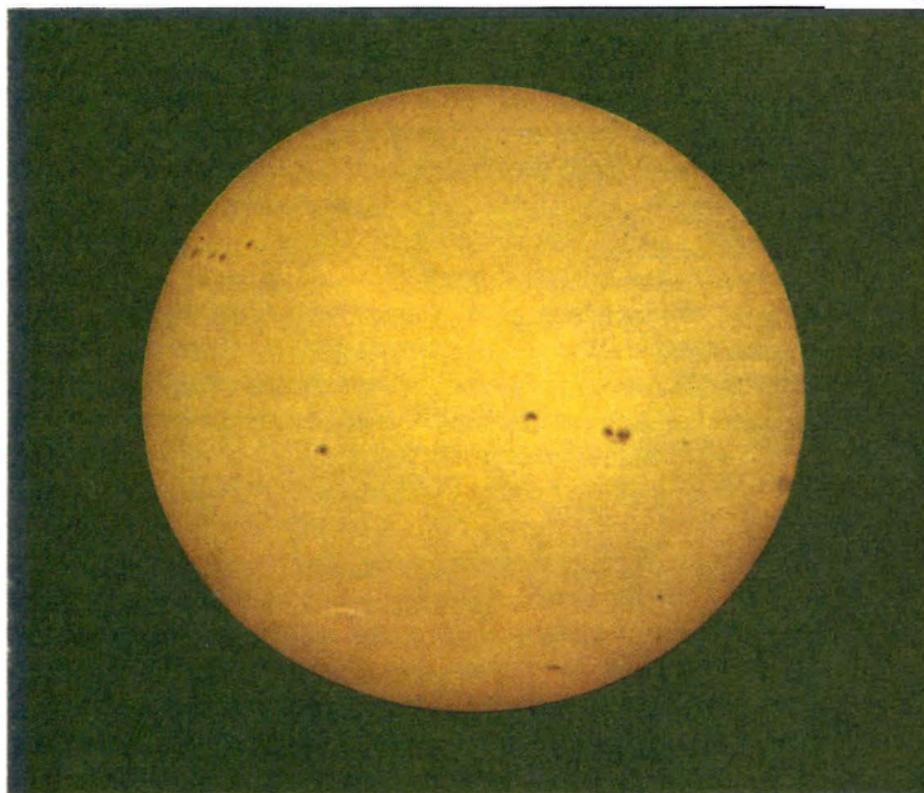
60 km unter den Kontinenten hat. Darunter geht das Gestein in einen anderen, stärker plastischen Aggregatzustand über.

Die Sterne sind im Gegensatz zu den Planeten massereiche Gaskugeln, die wegen ihrer hohen Oberflächentemperaturen sichtbare Strahlung aussenden. Die Oberflächentemperaturen der meisten Sterne betragen einige tausend bis zehntausend Grad. Unter der Oberfläche eines Sternes wird die im Vergleich zu seinem Durchmesser sehr dünne, ebenfalls gasförmige Außenschicht verstanden, aus welcher der größte Teil der in den Weltraum gelangenden Strahlung abgegeben wird. Bei der Sonne hat diese Photosphäre genannte Schicht eine Dicke von nur etwa 500 km. Die Oberseite der Photosphäre geht stetig in eine Hülle über, in der die Dichte rapid nach außen abfällt. Im Prinzip ähnliche physikalische Verhältnisse finden wir auch bei allen anderen Sternen.

Im Innern der Sterne steigt die Temperatur in den zentrumsnahen Gebieten steil auf Werte von etwa 10 bis 100 Millionen Grad an. Derartig hohe Temperaturwerte und gleichzeitig hohe Materiedichten bilden die Voraussetzung für den Betrieb der stellaren Atomkraftwerke. Sie schöpfen die von der Natur gegebenen Möglichkeiten aus, Ruhemassenenergie der Kernbausteine in Strahlungsenergie zu verwandeln. In den meisten Sternen ist der Strahlungsenergie liefernde Vorgang der stufenweise Aufbau von Heliumatomkernen aus jeweils vier leichteren Wasserstoffkernen. Bei dem ständigen Prozeß der Kernverschmelzung wird ungefähr 1 % der Ruhemasse der an den Reaktionen beteiligten Atomkerne in Strahlungsenergie umgesetzt. Sie wird von der Gesamtheit der Atome im Sterninnern im Laufe der Zeit an die Sternoberfläche übertragen und dort von der Photosphäre in den Weltraum abgestrahlt. Der von den Sternen in jeder Sekunde ausgesendete Energiebetrag ist für irdische Begriffe enorm hoch. So wird z. B. jeder Quadratcentimeter der Sonnenoberfläche von einem Energiestrom von 6,4 Kilowatt durchsetzt. Zur Aufrechterhaltung des gesamten in den Weltraum fließenden Energiestroms, der sogenannten Leuchtkraft der Sonne, müssen in ihren zentralen Gebieten in jeder Sekunde 4,3 Milliarden Kilogramm Masse in Strahlung

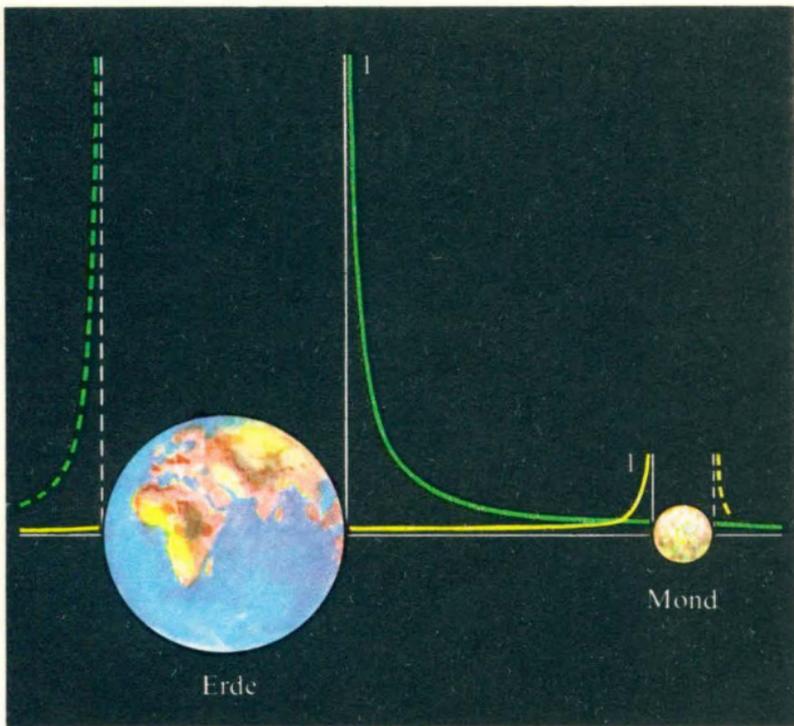
umgewandelt werden. So groß uns auch dieser ständige Masseverlust erscheint, ist er im Vergleich zur Gesamtmasse der Sonne immer noch so verschwindend klein, daß er sich erst nach dem Ablauf von rund 10 Milliarden Jahren bemerkbar macht. Selbst wenn man bedenkt, daß die Sonne schon rund 4,5 Milliarden Jahre alt ist, liegt diese zwangsläufig auf uns zukommende kosmische Energiekrise in unübersehbarer Ferne.

Der massereichste und größte Körper in unserem Sonnensystem ist die Sonne. Die von ihr abgestrahlte Energie bestimmt wesentlich die physikalischen Verhältnisse auf den Planeten. Bei Fernrohrbeobachtungen und auf Aufnahmen von der Sonne fällt der Helligkeitsabfall von der Mitte der Sonnenscheibe zum Rande auf. Die als Randverdunklung bezeichnete Erscheinung rührt von der Temperaturschichtung in der lichtaussendenden Schicht, der Photosphäre, her. Die Sonnenflecken markieren sich auf der Sonnenscheibe als mehr oder weniger große dunkle Gebilde.



Würde man die Sonne in einem Gedankenversuch auf die Waagschale einer überdimensionalen Waage legen, so wären auf der anderen Seite rund 330 000 Erden erforderlich, um das Gleichgewicht herzustellen. Auch Jupiter, der massereichste Planet im Sonnensystem, erreicht nur etwa ein Tausendstel der Sonnenmasse. Diese im Vergleich zur Sonne verhältnismäßig kleinen Massen der Planeten sind letzten Endes dafür verantwortlich, daß sich in ihrem Innern keine so hohen Dichten und Temperaturen einstellen, um Energie aus Kernverschmelzungsprozessen wie in den Sternen zu gewinnen.

Verwendet man die »Kenndaten« der Sonne – wie etwa Oberflächentemperatur, Masse und Leuchtkraft – als Maßstab für einen Vergleich mit anderen Sternen, dann ergibt sich, daß unsere Sonne zum Heer der massearmen Sterne gehört, die sich durch eine recht große »Lebenserwartung« auszeichnen. Praktisch befinden sich fast alle Sterne in einem physikalischen Gleichgewichtszustand, in dem sie sehr lange Zeit verharren. Das beste Beispiel dafür ist unsere Sonne. Sie hat, wie schon erwähnt, in diesem Zustand das respektable Alter von mehr als 4,5 Milliarden Jahren erreicht. Sterne, deren Masse die der Sonne um den 10fachen Betrag übertrifft, besitzen unter anderem eine extrem hohe Leuchtkraft. Sie kann die Sonnenleuchtkraft um das 1000- bis 10 000fache übersteigen. Derartig verschwenderische Energieströme erfordern natürlich im Innern solcher Sterne sehr effektiv arbeitende »Kernkraftwerke«, deren Massenumsatz entsprechend hoch ist. Als Folge davon stellt sich für astronomische Begriffe verhältnismäßig rasch, unter Umständen schon nach einigen Jahr-millionsen, eine Erschöpfung des Wasserstoffvorrats in den mittelpunktsnahen Gebieten ein. Das führt im Sterninnern zu einer Energiekrise. Ihr begegnet der Stern dadurch, daß er sich im Innern durch eine Kontraktion stark aufheizt. Auf diese Weise werden neue energieliefernde Kernreaktionen (die Umwandlung von Heliumkernen in Kohlenstoffkerne) wirksam, die die stellare Energiebilanz wieder sichern. Während der Umstellung des stellaren Kernkraftwerkes auf eine neue »Brennstoffbasis« expandieren die Außengebiete der Sterne sehr stark. Die Sterne verwandeln sich in enorm ausgedehnte Gaskugeln mit



Die in ihrem Größenverhältnis richtig eingezeichnete Erde und der Mond müßten um das Zwanzigfache auseinandergerückt werden, um auch den Abstand zwischen ihnen maßstabsgerecht darzustellen.

Die Beschleunigungen an den Oberflächen beider Himmelskörper wurden zu 1 angesetzt. Mit wachsendem Abstand von den Oberflächen beider Himmelskörper fällt der Betrag der Beschleunigungen in der dargestellten Weise ab (grüne und gelbe Kurve). Die Kurven sind nur für die Punkte auf der Verbindungslinie von Erde und Mond gezeichnet, haben aber an allen anderen Oberflächenstellen den gleichen Verlauf. Die Anziehungskräfte erhält man, wenn die jeweiligen Beschleunigungen mit den betreffenden Massen multipliziert werden. Für eine vorgegebene Masse ergibt sich für die Anziehungskraft eine Kurve, die in ihrer Form den dargestellten Beschleunigungskurven entspricht. Der Betrag der Anziehungskraft eines beliebigen Himmelskörpers nähert sich erst in einer beliebig großen Entfernung dem Wert Null.

Die Kraftfelder von Erde und Mond durchdringen einander gegenseitig. Diese Gesetzmäßigkeit gilt selbstverständlich gleichermaßen für alle anderen Himmelskörper.

Oberflächentemperaturen von nur wenigen tausend Grad. Der für die massereichen Sterne gerade skizzierte Entwicklungsweg trifft in groben Zügen auch für unsere Sonne zu. Da die Sonne aber mit ihrem Energievorrat verhältnismäßig sparsam umgeht, wird er erst in ungefähr fünf Milliarden Jahren aufgebraucht sein. Dann wird sie sich gleichfalls im Verlaufe von Jahrtausenden in einen rötlich leuchtenden Riesenstern verwandeln. Die unausweichliche Folge davon werden tiefgreifende Klimaänderungen auf der Erde und selbstverständlich auf den anderen Planeten sein.

Das geschilderte Stadium der roten Riesensterne stellt nur eine Episode in der Geschichte alternder Sterne dar, der noch einige weitere folgen. Diese späten Entwicklungsstufen sollen hier jedoch nicht weiter betrachtet werden.

Neben den massereichen Sternen gibt es aber auch solche, deren Masse kleiner als die der Sonne ist. Derartige Sterne strahlen nur einen vergleichsweise schwachen Energiestrom in den Weltraum. Sie können daher trotz des geringen zur Verfügung stehenden »Brennstoffvorrates« sehr lange in ihrem Gleichgewichtszustand verweilen. Sternentwicklungsvorgänge, wie wir sie für die massereichen Sterne angedeutet hatten, werden sich bei ihnen über extrem ausgedehnte Zeiträume erstrecken.

Diese kurze Beschreibung der Himmelskörper stellt nicht mehr dar als eine ganz grobe Orientierung im Hinblick auf die uns interessierende Frage nach möglichen kosmischen Einflüssen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden die Probleme der Sternentwicklung nur grob umrissen und Fragen der räumlichen Anordnung der Sterne und entstehungsmäßig zusammengehörender Sternansammlungen überhaupt nicht berührt.

Die Natur der kosmischen Einflüsse

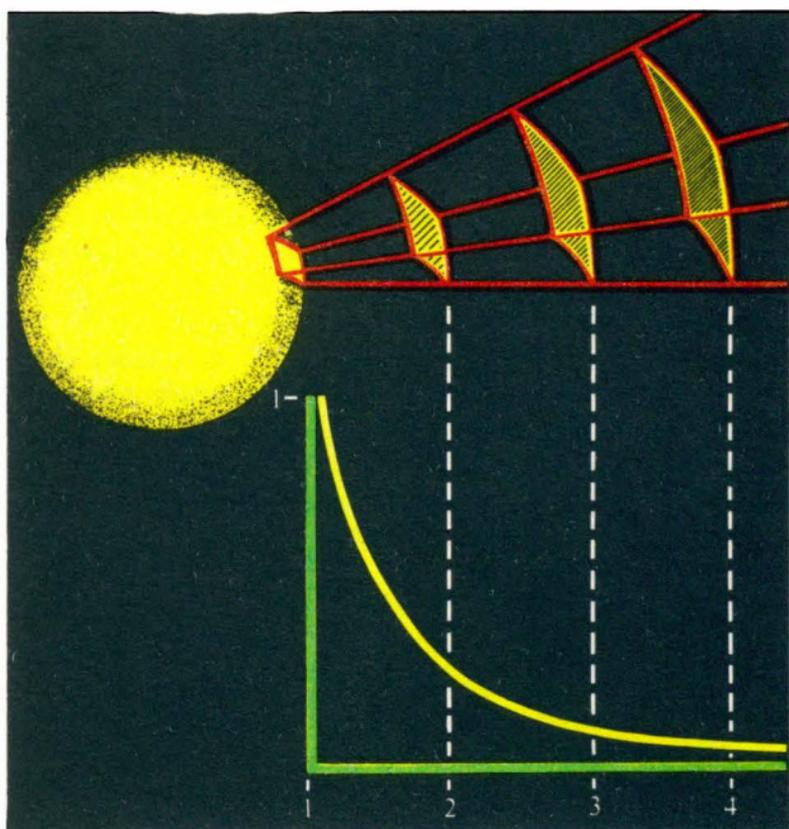
Dem genialen englischen Physiker Isaac Newton verdanken wir die grundlegende Erkenntnis, daß von jedem Körper eine Kraft ausgeht, deren Betrag seiner Masse direkt proportional ist und die quadratisch mit der Entfernung vom Körper abfällt. Wird beispielsweise die Entfernung zweier sich gravitativ beeinflussender Himmelskörper verdoppelt, so sinkt die gegenseitige Kraftwirkung auf ein Viertel ihrer ursprünglichen Größe ab. Vergegenwärtigt man sich die großen Massen der Himmelskörper, so können bei geringen Abständen beträchtliche Kraftwirkungen zustande kommen. In dieser Hinsicht sind die zwischen den verschiedenen Himmelskörpern wirkenden Kräfte eine mögliche Quelle, von der wir Einflüsse erwarten können. Eine zweite Quelle für kosmische Einflüsse ist der von der Sonne und den Sternen ausgehende Strahlungsstrom, der sich aus der elektromagnetischen Wellenstrahlung und der Teilchenstrahlung zusammensetzt. Für den zuletzt genannten Anteil wurde der anschauliche Ausdruck »Sonnen-« bzw. »Sternwind« geprägt. Die Intensität des Strahlungsstromes fällt quadratisch mit der Entfernung ab, weil sich die zur Verfügung stehende Strahlungsenergie mit zunehmendem Abstand vom Strahler auf eine immer größere Fläche verteilt.

Nach unseren gegenwärtigen theoretischen Kenntnissen und praktischen Erfahrungen erscheint es sehr zweifelhaft, ob es noch weitere physikalische Erscheinungen gibt, die meßbare Vorgänge auf der Erde oder in ihrer Umgebung veranlassen.

Wie wir gesehen haben, sind die Kraftwirkungen und die Intensitäten der Energieströme sehr stark entfernungsab-

hängig, so daß nur von den der Erde unmittelbar benachbarten Himmelskörpern merkliche Einflüsse zu erwarten sind. Zu diesen Himmelskörpern gehören praktisch nur der Mond wegen seiner großen Erdnähe und die Sonne als Zentralkörper des Sonnensystems. Vom Mond sind lediglich die Kraftwirkungen bedeutungsvoll, während seine

Der Strahlungsstrom, d. h. die Energiemenge, die pro Flächeneinheit und Zeiteinheit die Oberfläche eines Sternes durchdringt, fällt quadratisch mit der Entfernung von der Sternoberfläche ab. Setzt man den Strahlungsstrom an der Sternoberfläche gleich 1, so ist sein Betrag in drei Sternradien Abstand (vom Mittelpunkt aus gerechnet) bereits auf ein Neuntel des Oberflächenwertes gesunken. Wie die Zeichnung veranschaulicht, verteilt sich die durch ein vorgegebenes Flächenstück auf dem Stern hindurchdringende Energiemenge auf ein immer größeres Flächenstück, je weiter man sich vom Stern entfernt.



Strahlungseinflüsse – er reflektiert nur einen Bruchteil der Sonnenstrahlung – weit unter den solaren Strahlungswerten liegen. Die Sonne bestimmt mit ihrer gewaltigen Masse gravitativ die Bewegungsverhältnisse aller Körper des Sonnensystems und beeinflusst zugleich durch ihren Strahlungsstrom weitgehend deren physikalischen Zustand. Der seit einigen Milliarden von Jahren auf die Erde treffende und ungefähr gleich gebliebene solare Energiestrom hat an der Oberfläche unseres Planeten im Laufe der Zeit solche physikalischen Bedingungen geschaffen, daß sich irdisches Leben entwickeln konnte. Wie wir wissen, schwankt der von der Sonne ausgehende Energiestrom um kleine Beträge. Obwohl sie im Vergleich zur gesamten Sonnenstrahlung nur geringfügig sind, rufen sie doch eine Reihe zum Teil sehr auffälliger Störungen auf der Erde und anderen Körpern des Sonnensystems hervor.

So unvorstellbar groß die von den massereichen Sternen ausgehenden Energieströme für uns sind – eine Beeinflussung der Erde durch sie ist wegen der großen Entfernungen nicht zu befürchten. Zieht man einmal zur Veranschaulichung den mittleren Abstand der Erde von der Sonne (rund 150 Mill. km) als Maßeinheit heran, dann sind unsere Nachbarsterne, unter denen sich keine massereichen Sterne befinden, im Durchschnitt 250 000mal weiter entfernt. Schon die allernächsten Sterne um uns müßten Explosionen gewaltigen Ausmaßes erleiden, d. h. größte Energiemengen innerhalb kürzester Zeit abstrahlen, um im Sonnensystem schädigende Wirkungen hervorzurufen. Tatsächlich gibt es Fälle, in denen einzelne Sterne innerhalb weniger Stunden ihre Energieabstrahlung um das 10 000- bis 100-Millionenfache steigern. Aber selbst solche als Nova- oder Supernovaausbrüche bezeichneten Vorgänge müßten sich in der Nähe der Sonne ereignen, um meßbare Auswirkungen zu haben. Nach unseren Kenntnissen über die Sternentwicklung sind jedoch derartige kosmische »Brandkatastrophen« von den Nachbarsternen der Sonne nicht zu erwarten. So bleibt der Zentralkörper unseres Sonnensystems als einziger Stern Gegenstand der weiteren Betrachtungen.

Zu den Strahlungseinflüssen werden in diesem Zusammenhang auch die relativ seltenen Ereignisse gerechnet,

bei denen sehr energiereiche Elementarteilchen (Atomkerne vorwiegend leichterer Elemente) in die Erdatmosphäre eindringen und dort meßbare Vorgänge auslösen. Die »kosmische Strahlung«, wie die energiereichen Elementarteilchen auch genannt werden, stammt zum überwiegenden Teil von der Sonne. Der Rest kommt aus weit entfernten Gebieten des Weltalls, in denen sich gewaltige Explosionen ereigneten.

Einige Eigenschaften der Sonnenstrahlung

Von der Sonne wird die in ihrem Innern freigesetzte Energie zum größten Teil durch elektromagnetische Wellen abgestrahlt, die sich im Weltraum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Die von der Sonnenoberfläche, wie auch von jedem anderen Stern, ausgesendete Energie besteht aus Strahlung mit ganz unterschiedlichen Wellenlängen. Je nach Wellenlänge spricht man von Gammastrahlung, Röntgenstrahlung (sehr kurzwellige Strahlung) oder Radiostrahlung (Zentimeter- bis Meterwellen).

Der Spektralbereich, in dem die meiste Energie emittiert wird, hängt gesetzmäßig von der Oberflächentemperatur des strahlenden Körpers ab. Unsere Sonne strahlt entsprechend ihrer Oberflächentemperatur von rund 5700 Kelvin den überwiegenden Teil ihrer Energie in einem schmalen Wellenlängenbereich zwischen hunderttausendstel bis zehntausendstel Zentimeter aus. Es ist die für unsere Augen sichtbare Sonnenstrahlung. Die noch kürzerwellige Sonnenstrahlung – wie beispielsweise die ultraviolette – können wir nicht sehen. Einige Wellenlängenbereiche der solaren Ultraviolettstrahlung machen sich erfahrungsgemäß durch ihre Wirkung auf die Haut bemerkbar – unter Umständen bekommen wir sie in Form eines Sonnenbrandes zu spüren. Die Infrarotstrahlung, die etwas längere Wellen als die sichtbare Sonnenstrahlung aufweist, wird uns durch die in der Haut ausgelösten Wärmeempfindungen signalisiert. Mit diesen Wahrnehmungen sind aber die Fähigkeiten unserer körpereigenen Sensoren, Strahlungen verschiedener Wellenlängen anzuzeigen, erschöpft. Weitere Auskünfte über Strahlung aus anderen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums können nur Meßgeräte

liefern, die dort empfindlich sind und wegen der selektiven und absorbierenden Wirkung der Erdatmosphäre vorwiegend im Weltraum betrieben werden müssen.

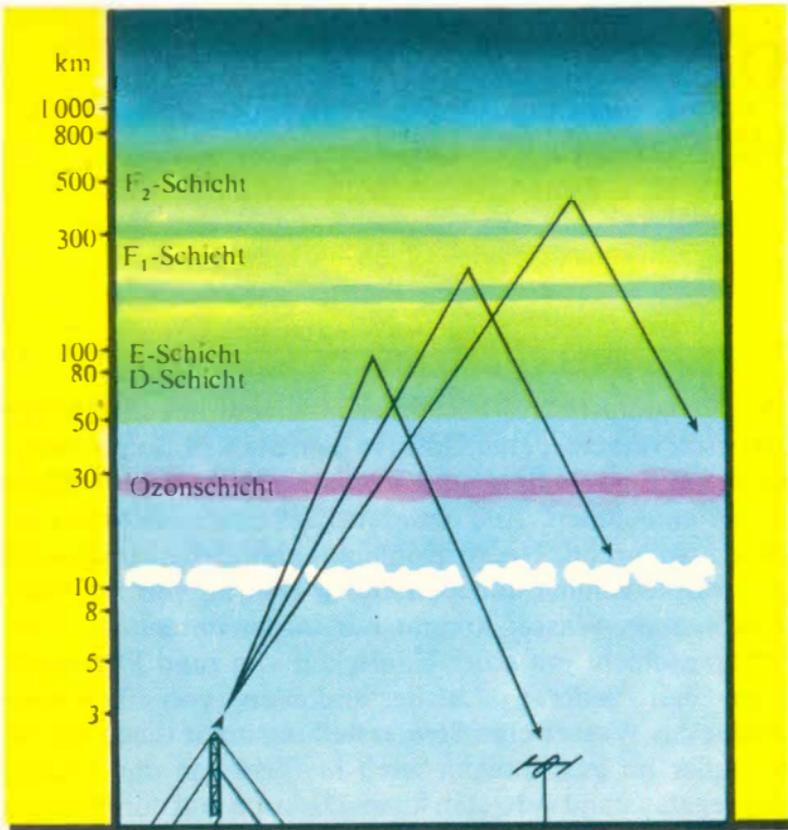
Wie schon erwähnt, geht von der Sonne außer der elektromagnetischen Wellenstrahlung ständig ein Strom von Elektronen und leichteren Atomkernen (zum größten Teil Wasserstoff und Helium) aus, für den die Bezeichnung »Sonnenwind« geprägt wurde. Er setzt sich aus einer in alle Richtungen gehenden Grundkomponente zusammen, in der dichtere und »heißere« Wolken eingebettet sind. In der Nähe der Erde haben die geladenen Teilchen normalerweise eine Geschwindigkeit von einigen hundert Kilometern je Sekunde. Der durch die abströmenden Teilchen hervorgerufene Masseverlust der Sonne ist beträchtlich. Er beträgt nahezu 1 Mrd. kg/s, das ist etwa ein Viertel des Masseverlustes durch die energieliefernden Prozesse im Sonneninnern.

Die Schutzhülle unserer Erde

Die Erdatmosphäre besteht aus einem mechanischen Gemisch verschiedener Gase, in dem Stickstoff und Sauerstoff mit rund 78 bzw. 20,9 Volumenprozent den größten Raum einnehmen. Alle anderen Elemente und Moleküle (wie z. B. Argon, Neon, Kohlendioxid) stellen insgesamt den verbleibenden unbedeutenden Beitrag von 1,1 Volumenprozent. Wasser kommt nur in der untersten Atmosphärenschicht mit einer Häufigkeit von rund 1 % gegenüber den anderen Luftbestandteilen vor. Trotzdem nimmt das Wasser eine Sonderstellung unter ihnen ein, da es außer im gasförmigen auch in flüssigem und festem Aggregatzustand auftreten kann. Dadurch und durch einige industrielle Abgase, wie z. B. Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Ammoniak und Stickstoffoxid, verändert sich die chemische Zusammensetzung der untersten Atmosphärenschicht in geringen Grenzen.

Infolge der Schwerkraftwirkung und der Temperatureinflüsse hat sich in der Erdatmosphäre eine charakteristische Verteilung der Dichte eingestellt. Sie ist am Erdboden am größten und nimmt mit der Höhe rasch ab. Entsprechend den jeweils herrschenden physikalischen Verhältnissen teilt man die Erdatmosphäre in mehrere Schichten ein, die sich ihrerseits wieder feiner untergliedern lassen.

Die unterste Atmosphärenschicht wird Troposphäre genannt. Sie erstreckt sich in unseren Breiten bis in eine Höhe von rund 12 km; in ihr spielt sich das Wettergeschehen ab. Darüber, bis in etwa 50 km Höhe, liegt die Stratosphäre, an deren Obergrenze sich bis in rund 80 km Höhe die Mesosphäre anschließt. An die Mesosphäre grenzt die Thermosphäre oder Ionosphäre an. In ihr bewirkt die ein-



Zur besseren Veranschaulichung der verschiedenen Atmosphärenschichten ist die Höhenskala logarithmisch geteilt. In unseren Breiten spielt sich das Wettergeschehen bis in etwa 12 km Höhe ab. Die Ozonschicht wirkt für die ultraviolette Strahlung wie ein Filter, das sie nur stark geschwächt zum Erdboden durchläßt. Die D-Schicht im unteren Teil der Ionosphäre ist nur zeitweilig nach starken Sonneneruptionen vorhanden. An den höhergelegenen Schichten der Ionosphäre werden die Funkwellen der Lang-, Mittel- und Kurzwellessender zum Erdboden zurückgeworfen. Dadurch ist der Funkempfang über große Entfernungen möglich. In Höhen über 1000 km vollzieht sich der fließende Übergang der Reste der Atmosphäre in den Weltraum.

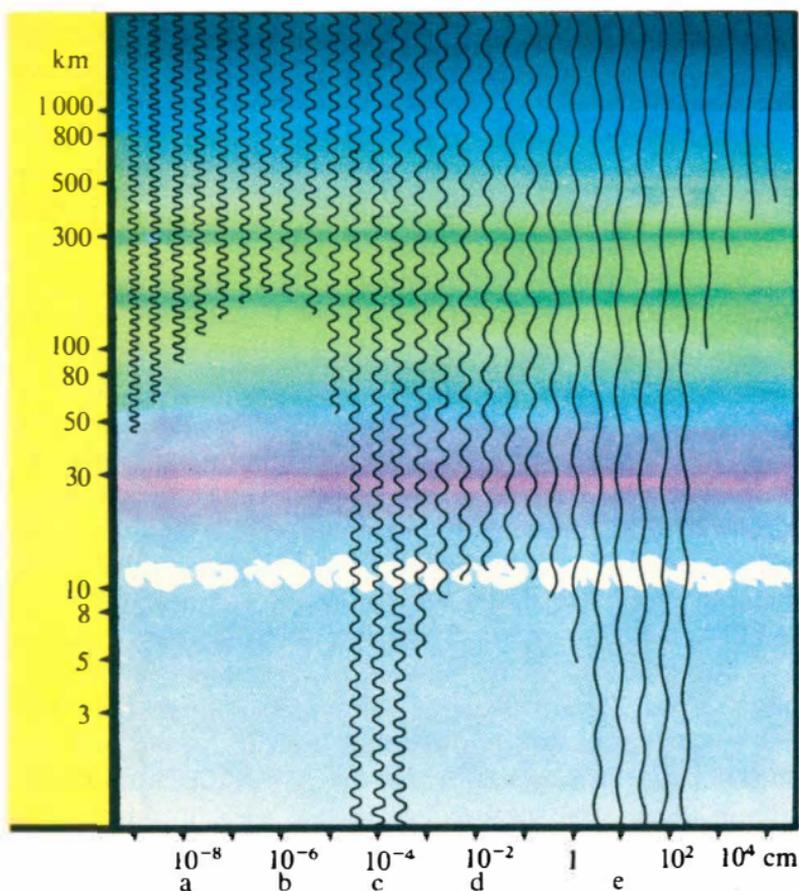
fallende kurzwellige Sonnenstrahlung die Zerlegung (Dissoziation) der Gasmoleküle in ihre atomaren Bestandteile und eine Ionisation der meisten Atome. Durch diesen Vorgang verlieren die Atome Elektronen aus den sie

umgebenden Elektronenhüllen und sind deshalb elektrisch nicht mehr neutral. Der Grad der Ionisation erreicht in bestimmten Höhenbereichen besonders große Werte. Daher spricht man von verschiedenen Ionosphärenschichten wie D-Schicht, E-Schicht, F₁-, F₂-Schicht. Sie haben die Eigenschaft, die Funkwellen der Kurz-, Mittel- und Langwellensender zu reflektieren. Auf diese Weise wird der Funkempfang trotz der Erdkrümmung auch über große Entfernungen möglich. An die Ionosphäre schließt sich in ungefähr 1500 km Höhe die Exosphäre an, von der aus der allmähliche Übergang in den Weltraum erfolgt.

Der physikalische Zustand der Erdatmosphäre wird entscheidend von der eingestrahnten Sonnenenergie geprägt. Die durch Erdrotation, Jahreslauf der Erde um die Sonne und eigentliche Schwankungen der Sonnenstrahlung zeitlich veränderlichen Einstrahlungsverhältnisse widerspiegeln sich daher im Zustand der Atmosphäre.

Von dem gesamten Spektrum der Sonnenstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen dringt nur ein bescheidener Teil bis zur Erdoberfläche vor. Für den größten Teil der elektromagnetischen Wellen, die die Sonne und die anderen Sterne emittieren, ist die Atmosphäre undurchsichtig. Die atmosphärischen Gase wirken durch ihre filternden Eigenschaften wie ein Netz, das nur an einigen wenigen Stellen durchlöchert ist. Durch sie kann nur die Strahlung bestimmter Wellenlängenbereiche passieren. Wenn auch wegen der Filterwirkung der am Erdboden zu beobachtende Wellenlängenbereich des Sonnenspektrums stark reduziert ist, so gelangt doch gerade die energetisch bedeutsame Strahlung weitgehend ungehindert durch unsere Lufthülle. In dem sich ergebenden »Strahlungsmilieu« konnte organisches Leben entstehen und sich entwickeln. Im Laufe der Erdgeschichte und durch biologische Prozesse hat die Erdatmosphäre eine grundlegende chemische Entwicklung durchlaufen.

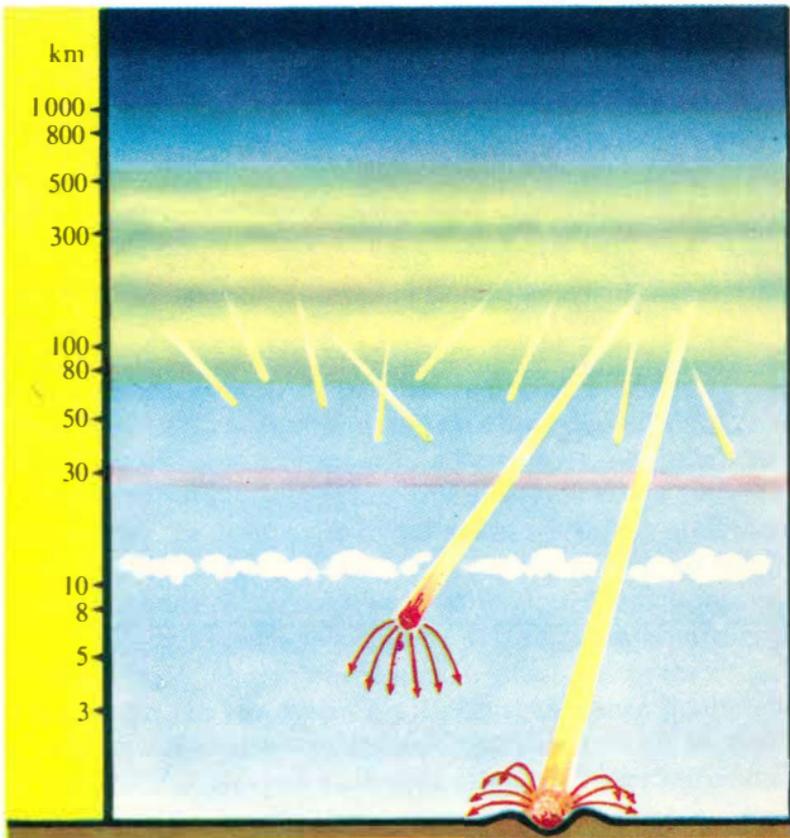
Sollten sich nun in Zukunft vor allem durch die Tätigkeit der Menschen die Eigenschaften der Atmosphäre merklich verändern, so wären Schädigungen der irdischen Organismen die unausbleibliche Folge. Deshalb ist die globale Reinhaltung der Lufthülle von fundamentaler Bedeutung für den Bestand des Lebens auf der Erde.



Die aus dem Weltraum einfallende Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge wird in der Erdatmosphäre verschieden stark absorbiert. In der Darstellung ist die Strahlung jeweils bis zu der Höhe eingezeichnet, bis zu der ihre Intensität auf rund ein Drittel der ursprünglichen abgesunken ist. Die extrem kurzwellige Strahlung wird schon in Höhen um 300 km absorbiert und führt zum Aufbau der Ionosphäre. Der Wasserdampf und das Kohlendioxid der Atmosphäre absorbieren die Infrarotstrahlung. Durch die Ionosphäre werden die Radiowellen mit mehr als 30 m Wellenlänge nicht mehr hindurchgelassen. Wegen der Absorptionseigenschaften läßt sich am Grunde der Atmosphäre die von den Himmelskörpern ausgehende Strahlung nur in wenigen begrenzten Wellenlängenbereichen, vor allem dem »optischen Fenster« und dem »Radiofenster« beobachten. a – Röntgenstrahlung, b – Ultraviolettstrahlung, c – sichtbares Licht (»optisches Fenster«), d – Infrarotstrahlung, e – Radiostrahlung (»Radiofenster«)

Abgesehen von den bereits erwähnten Eigenschaften wirkt die Erdatmosphäre als »Stoßdämpfer« gegen Meteoriten. Dringen diese kosmischen Festkörper in die Luft-

Beim Eindringen von Meteoriten in die Atmosphäre werden sie erhitzt und abgebremst. Die kleinsten Meteoriten (von etwa 1g Masse) verdampfen schon in Höhen über 80km. Für sie wurde die Bezeichnung Sternschnuppen geprägt. Viel seltener sind die Meteoriten mit einigen Kilogramm Masse. Sie rufen bei ihrer Abbremsung in der Luft helle Leuchterscheinungen (Feuerkugeln) hervor, die in wenigen Kilometern Höhe über dem Boden verlöschen. Aus diesen Höhen fallen die verbliebenen Bruchstücke des Meteoriten im freien Fall zur Erde. Sie richten keine nennenswerten Schäden an. Der Einsturz der ganz seltenen Großmeteoriten mit Massen von einigen 10 Tonnen kann an der Aufschlagstelle katastrophale Verwüstungen anrichten. Dabei entstehen zum Teil kilometergroße Krater



hülle ein, so werden sie bei den hohen Geschwindigkeiten durch den mechanischen Widerstand der Luft stark abgebremst und durch die aufprallenden Gasatome entweder völlig oder zumindest teilweise verdampft. Der Verdampfungsvorgang ist mit einem Leuchten der Gasatome im Einschußkanal der Atmosphäre verbunden, für das sich der Ausdruck »Sternschnuppe« oder bei sehr hellen Erscheinungen »Feuerkugel« eingebürgert hat. Nur in seltenen Fällen gelangen Meteoritenstücke mit Massen von wenigen Kilogramm bis zu einigen Tonnen zur Erdoberfläche, und die von ihnen angerichteten Schäden waren für die Menschheit bisher minimal.

Die Wahrscheinlichkeit, daß bevölkerte Gebiete der Erde von einem sogenannten Riesenmeteoriten getroffen werden, der katastrophale Schäden verursacht, ist außerordentlich gering. Ungefähr einmal im Verlauf von einer Million Jahren schlägt ein kleiner Planetoid mit einem Durchmesser von etwa 4 km auf die Erde. Von derartigen Ereignissen in der Vergangenheit zeugen rund 100 Krater, die noch nicht völlig verwittert sind. Insgesamt dürfte die Erde in ihrer reichlich vier Milliarden Jahre dauernden Geschichte von ungefähr einer Million solcher Riesenmeteoriten getroffen worden sein. Dabei häuften sich die Meteoritentreffer mit katastrophalen Auswirkungen vor allem in der Frühzeit der Erdgeschichte. Wie die Einschlagstatistiken für die jüngere Erdgeschichte und die Gegenwart aussagen, wäre es stark übertrieben, von einer Meteoritengefahr zu sprechen.

Die Einflüsse des Mondes

Das Schauspiel von Ebbe und Flut

Für Touristen, Badegäste und Küstenbewohner der Ozeane und ihrer Randmeere ist der Wechsel von Ebbe und Flut ein fesselndes Schauspiel. Die Differenz der Wasserstände bei Hoch- und Niedrigwasser ist unterschiedlich groß und hängt in starkem Maße von den geographischen Gegebenheiten ab. So erreicht beispielsweise in dem nordfranzösischen Ort Granville die mittlere Differenz der Wasserstände den beachtlichen Wert von 12,30 m.

Ebbe und Flut machen an den Flußmündungen nicht halt, sondern rufen dort zum Teil recht eigentümliche Erscheinungen hervor. Mit der Flut dringt Meereswasser tief in die Flußmündungen hinein und läßt dort den Wasserspiegel ansteigen. Falls in einem Fluß die Wassertiefe in einer bestimmten Weise abnimmt, kann das einströmende Meereswasser eine regelrechte Stufe aufbauen. Der physikalische Grund für das merkwürdige Verhalten liegt darin, daß sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen mit abnehmender Wassertiefe verringert. So finden bei steigender Flut die folgenden Wellen schon etwas tieferes Wasser vor, in dem sie sich schneller als ihre Vorgänger ausbreiten können. Auf diese Weise kann sich allmählich eine meterhohe Wasserschwelle aufbauen, die sich tosend den Flußlauf hinaufbewegt. Am auffälligsten sind diese Erscheinungen an der nordfranzösischen Küste im Frühjahr und im Herbst, wenn die Hochwasser ihre höchsten Stände erreichen. Im wasserreichsten Strom der Erde, dem Amazonas, hat die dort auch auftretende Wasserstufe eine imposante Größe. Sie wird von den Anwohnern »po-



Bei steigender Flut kann sich in einer Flußmündung unter entsprechenden Voraussetzungen eine regelrechte Wasserstufe aufbauen, die sich rasch den Fluß hinaufbewegt. Der Stich zeigt die Erscheinung bei Caudebec am Unterlauf der Seine.

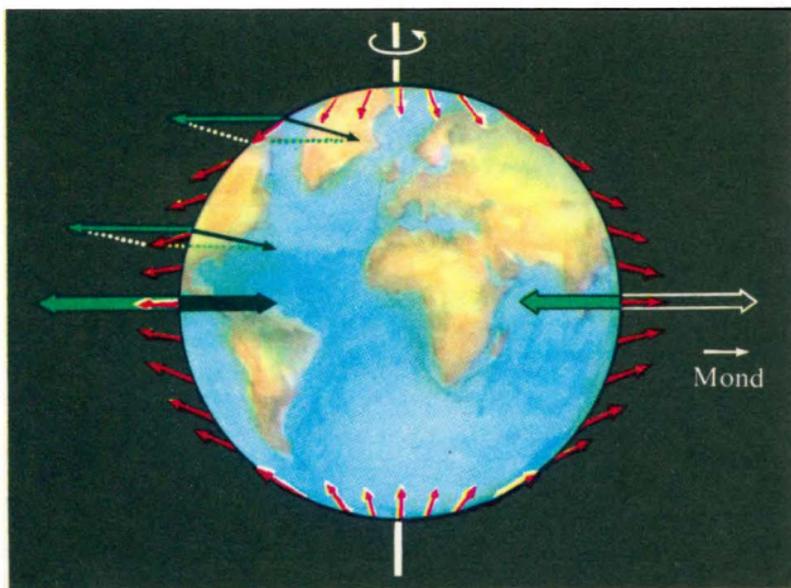
roroca« genannt und erreicht eine Höhe von 4–5 m. Die Pororoca dringt bis 800 km tief in den Amazonas und seine Nebenflüsse ein.

Das zeitliche Auftreten von Ebbe und Flut an einem Küstenort zeigt eine auffällige Verbindung zur Stellung des Mondes am Himmel. Daher vermutete man schon im Altertum, daß der Mond für die Gezeiten verantwortlich ist. Tatsächlich verdanken Ebbe und Flut ihre Entstehung vor allem der Anziehungskraft des Mondes. Aber auch die Sonnenanziehungskraft ist an der Entstehung der Gezeiten beteiligt. Allerdings ist der Anteil der Sonne trotz ihrer weitaus größeren Masse wegen der großen Entfernung mit nur 40 % am Gesamtbetrag recht gering.

Für die physikalische Erklärung von Ebbe und Flut ist wesentlich, daß der Erdkörper, obwohl die Entfernungen

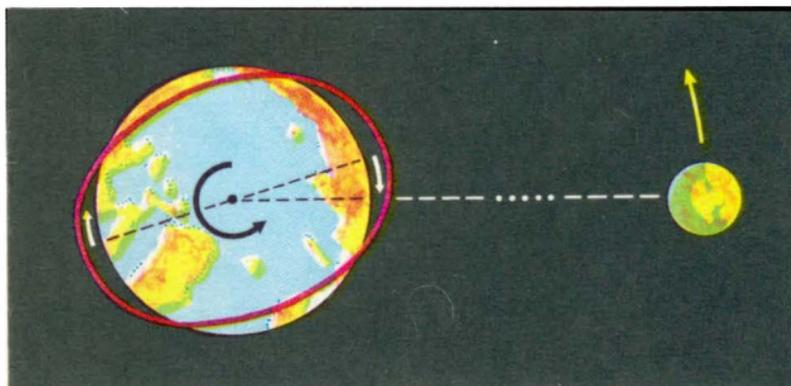
zum Mond und zur Sonne sehr groß sind, nicht als ausdehnungsloser Massenpunkt angesehen werden kann. Daraus ergibt sich zwangsläufig, daß die vom Mond ausgeübte Anziehungskraft auf die verschiedenen Orte auf und in der Erde unterschiedlich groß ist, je nach der Entfernung, in der sie sich gerade vom Mond befinden. Zudem treten, da sich Erde und Mond um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, Zentrifugalkräfte auf. Betrachtet man die in diesem Zusammenhang wichtigen irdischen Zentrifugalkräfte, so läßt sich feststellen, daß sie an jedem Ort gleich sind und in die dem Mond entgegengesetzte Richtung zeigen. Die Überlagerung der durch die Erdbewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems Erde-Mond

Die Gezeitenkräfte (rote Pfeile) entstehen durch die Überlagerung der überall auf der Erde gleich großen und gleichgerichteten Zentrifugalkräfte (grüne Pfeile) infolge der Bewegung der Erde um den Schwerpunkt des Systems Erde-Mond mit den zum Mond bzw. zur Sonne gerichteten Anziehungskräften (schwarze Pfeile). Je nach dem betrachteten Punkt auf der Erde ist die Entfernung zum Mond (bzw. zur Sonne) verschieden groß, und die Anziehungskräfte haben etwas unterschiedliche Beträge. Die verschiedenen Kräfte sind übertrieben groß gezeichnet. Die Kräfteparallelogramme gelten für jeden Punkt der Erde.



entstehenden Zentrifugalkraft mit der Anziehungskraft des Mondes ergibt für jeden Punkt der Erde eine resultierende Kraft, die Gezeitenkraft genannt wird. Ihr Betrag ist nur im Erdmittelpunkt genau Null. Auf der dem Mond zugewandten Seite überwiegt die Anziehungskraft des Mondes gegenüber der Zentrifugalkraft auf der Erde. Umgekehrt ist auf der dem Mond abgewandten Seite der Erde die Zentrifugalkraft größer als die Anziehungskraft des Mondes. Auf jeden Fall herrscht aber an jedem Punkt der Erdoberfläche eine von ihr weg gerichtete Kraft. Sie greift sowohl am festen Erdkörper wie auch an seiner Wasser- und Lufthülle an. Besonders gut beobachtbar ist die schon beschriebene Wirkung der Gezeitenkraft auf die Ozeane und deren Randmeere. Etwas vereinfachend dargestellt,

Der Blick von Norden auf die Erde und die Bahnebene des Mondes zeigt, daß die Deformationsberge des Erdkörpers infolge der Gezeitenkräfte des Mondes nicht auf der Verbindungslinie zum Mond liegen. Der Grund hierfür ist einmal die Zähigkeit des Erdmaterials, die verhindert, daß sich die Flutberge sofort aufbauen. Trotz der dadurch eintretenden Verzögerung dreht es die Flutberge wegen der gegenüber dem Mondumlauf schnellen Erdumdrehung aus der Verbindungslinie Erde-Mond heraus. Dadurch entsteht ein Drehmoment (weiße Pfeile), das entgegengesetzt zur Rotation der Erde gerichtet ist und sie abbremst. Ein Teil der dabei freiwerdenden Energie wird der Bewegungsenergie des Mondes zugeschlagen, der sich dadurch etwas schneller bewegt und sich deshalb um einen geringen Betrag von der Erde entfernt. Dadurch vergrößert sich die Dauer eines Monats um einen kleinen Betrag.



werden dort zwei Flutberge aufgebaut, die sich auf der Erdkugel gegenüberstehen und deren Verbindungslinie auf den Mond weist. Infolge der Erdrotation bewegt sich die Erde sozusagen unter den Flutbergen hindurch. Eine zusätzliche langsamere Verlagerung der beiden Flutberge ergibt sich aus dem Umlauf des Mondes um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems Erde-Mond. Dadurch tritt für einen beliebig herausgegriffenen Küstenort an einem der Weltmeere ein bestimmter gezeitenabhängiger Wasserstand alle 12 Stunden und 25 Minuten ein. Die von der Sonne hervorgerufene schwächere Gezeitenflut hat dagegen eine Periode von genau 12 Stunden. Da zwei große Flutberge auf der Erde umlaufen, ereignet sich im allgemeinen für einen bestimmten Ort zweimal täglich der Gezeitenwechsel.

Im Gebiet der tiefen Weltmeere befinden sich beide Flutberge ziemlich genau dort, wo der Mond gerade seinen höchsten Stand über dem Horizont (obere Kulmination) oder seinen tiefsten Stand unter dem Horizont (untere Kulmination) hat. In den flachen Randmeeren, wie etwa im Ärmelkanal, verringert sich dagegen die Geschwindigkeit, mit der sich die beiden Flutberge fortbewegen können. Demzufolge tritt der höchste oder tiefste Wasserstand mit einer zeitlichen Verzögerung ein, die »Hafenzeit« genannt wird. Sie ist in Gibraltar praktisch Null, d. h., die Flut setzt ein, wenn der Mond kulminiert. In St. Nazaire an der Loire-Mündung dagegen beträgt die Hafenzeit etwa $3\frac{3}{4}$ Stunden und in Le Havre an der Seine-Mündung sogar 9 Stunden.

Durch die Gezeitenbewegung der Wassermassen entsteht auf den Böden der Flachmeere eine Reibung, bei der mechanische Energie verbraucht wird. Sie wird der Rotationsenergie der Erde entzogen. Als Folge davon tritt eine Verlangsamung der Erdrotation ein. Entsprechende Berechnungen ergaben, daß sich die Tageslänge auf diese Weise um 0,0016 Sekunden pro Jahrhundert vergrößert.

Die von der Sonne herrührenden Gezeitenkräfte beruhen auf den gleichen physikalischen Ursachen wie die des Mondes. Es werden daher gleichfalls zwei, wenn auch kleinere Flutberge aufgebaut, die sich mit den vom Mond hervorgerufenen Flutbergen überlagern. Wegen der stän-

dig wechselnden Stellung von Sonne, Erde und Mond zueinander kommt es zu einer sich periodisch wiederholenden Verstärkung oder Abschwächung der Flut. Wenn Sonne, Erde und Mond in einer Geraden stehen, also zur Zeit des Neumondes oder des Vollmondes, verstärkt sich die Flut zur sogenannten Springflut, da sich die von Mond und Sonne erzeugten Flutberge additiv überlagern. Stehen dagegen Sonne, Erde und Mond im rechten Winkel zueinander, also zur Zeit des ersten oder letzten Mondviertels, so schwächen sich die von Mond und Sonne hervorgerufenen Flutberge zur sogenannten Nippflut ab.

Die Vorhersage von Ebbe und Flut und der Höhe des Hochwassers für einen bestimmten Hafen oder ein Küstengebiet bereitet keine grundsätzlichen Schwierigkeiten. In die Berechnungen gehen neben der Konstellation von Mond und Sonne unter anderem solche lokal bedeutsamen Größen wie die Tiefe des vorgelagerten Meeres, seine Ausdehnung und der Küstenverlauf ein. Eine noch nicht genannte Größe ist ferner der Einfluß des Wetters, der unter Umständen die Fluthöhen stark verändert. So können starke Winde bei Sturmweatherlagen das Wasser in Buchten und Flußmündungen zusätzlich stauen. Eine derartige Wettersituation führte in der Nacht vom 16. zum 17. Februar 1962 zu einer Sturmflutkatastrophe in Hamburg und an der Nordseeküste. In Hamburg überschwemmte die Flutwelle die tiefer gelegenen Teile der Innenstadt. In diesem Falle überstieg die Flutwelle die Schutzdeiche, und trotz der Sturmflutwarnung der Seehydrographen und Meteorologen brach die Überschwemmung in die laufenden Evakuierungsmaßnahmen ein. Dabei fanden 341 Menschen in den eisigen Wassermassen den Tod.

Die Gezeitenvoraussagen sind auch ein wichtiges Hilfsmittel beim Betrieb solcher Häfen, deren Wasserstände von Ebbe und Flut abhängen. So finden die Schiffe während der Flut eine größere Wassertiefe in der Fahrrinne vor. Außerdem können ankommende Schiffe mit Unterstützung der landeinwärts gerichteten Strömung zu Beginn der Flut in die Flußmündungen und Häfen einlaufen. Beim Einsetzen der Ebbe läßt sich die seewärts gerichtete Strömung zum Auslaufen der Schiffe nutzen.

Eine andere Möglichkeit, die Gezeiten für die menschliche Gesellschaft nutzbar zu machen, besteht in der Errichtung von Gezeitenkraftwerken. Hierzu muß eine Flußmündung oder eine geeignete Bucht durch einen Damm abgeriegelt werden, der bei steigender Flut geöffnet werden kann. Wenn die Flut ihren Höhepunkt erreicht hat, werden die Schleusentore geschlossen. Bei Ebbe wird das angestaute Wasser durch Turbinen geleitet und dadurch Elektroenergie gewonnen. Die Bemühungen, diese Energiereserve anzuzapfen, stehen noch im Anfangsstadium.

Die Erde verformt sich

Die Gezeitenkräfte greifen nicht nur an den beweglichen Wassermassen an, die sich zu zwei Flutbergen zusammenschieben, sondern verformen auch die Erdkruste. Allerdings ist der Deformationsbetrag sehr gering und nur mit ganz empfindlichen Meßverfahren nachzuweisen: Durch das gezeitenbedingte Anheben und Absinken der Erdkruste an einem beliebig herausgegriffenen Punkt auf der Erde ändert sich sein Abstand vom Erdmittelpunkt. Dadurch wird aber eine geringfügige Schwerkraftänderung hervorgerufen, die sich mit Gravimetern feststellen läßt. Wie entsprechende Messungen ergaben, hebt und senkt sich der Boden, auf dem London steht, um 18 cm im Wechsel der Gezeiten. Nach einer rechnerischen Abschätzung sollte die Höhenschwankung von London etwas mehr, nämlich 29 cm betragen. An anderen Orten der Erde ist der Gezeitenhub des Bodens noch größer. So wurde für Kairo ein Wert von 36 cm ausgerechnet. Der Betrag der Verformung des Bodens kann dazu ausgenutzt werden, um Einblick in die elastischen Eigenschaften der Erdrinde zu bekommen.

Selbstverständlich sind die gezeitenbedingten Höhenschwankungen nicht auf die Küsten und die küstennahen Gebiete beschränkt. Zu beachten ist aber, daß die unterschiedliche Belastung des Meeresbodens durch die mit den Gezeiten wechselnden Wasserstände eine zusätzliche Höhenschwankung von einigen Millimetern bis Zentime-

tern bewirken kann. Das langsame Auf und Ab unserer Umgebung im Takte der Gezeiten ruft bei uns keine Reize oder nachweisbaren Auswirkungen hervor.

Offenbar ist schon im Altertum die periodisch wiederkehrende Verformung der Erdrinde bemerkt worden. So berichtete Plinius im dritten Buch seiner »Naturgeschichte« von Gezeiten im Grundwasser. Diese Beobachtung ist als Gezeitendeformation der umliegenden Gesteins- und Erdschichten aufzufassen.

Die Beeinflussung vulkanischer Mikrobeben

Mit den im Rahmen des Apollo-Programmes auf dem Mond abgesetzten Seismometern konnten zum ersten Male seismische Ereignisse auf einem anderen Himmelskörper registriert werden. Wie die Auswertung der Messungen ergab, häuften sich die Erschütterungen des Mondbodens immer dann, wenn unser Begleiter der Erde am nächsten war. Als Ursache für diesen Sachverhalt kommt die irdische Gezeitenkraft in Betracht, die dann am stärksten ist, wenn die Entfernung von Erde und Mond ihren kleinsten Wert erreicht. Durch die leicht vergrößerte Gezeitenkraft kann für ein schon »anstehendes« lunares seismisches Ereignis der letzte Anstoß gegeben werden.

Nachdem die Häufungstendenz der Mondbodenerschütterungen zur Zeit des geringsten Erdabstandes erkannt worden war, suchte man auf der Erde nach dem entsprechenden Effekt in den Bebenstatistiken. Die bisher in dieser Richtung durchgeführten Untersuchungen bestätigen aber die vermutete Häufung von Mittel- bis Großbeben zu Zeiten bestimmter Mondphasen nicht. Ein Grund für das negative Ergebnis ist darin zu sehen, daß die Gezeitenkraft des Mondes gegenüber der der Erde verhältnismäßig klein ist und die Erde mit ihrer wesentlich größeren Masse einen mechanisch stabileren Körper darstellt als der Mond. Die gezeitenbedingten Krustenbewegungen können offenbar nicht als Auslösemechanismus für Mittel- bis Großbeben fungieren.

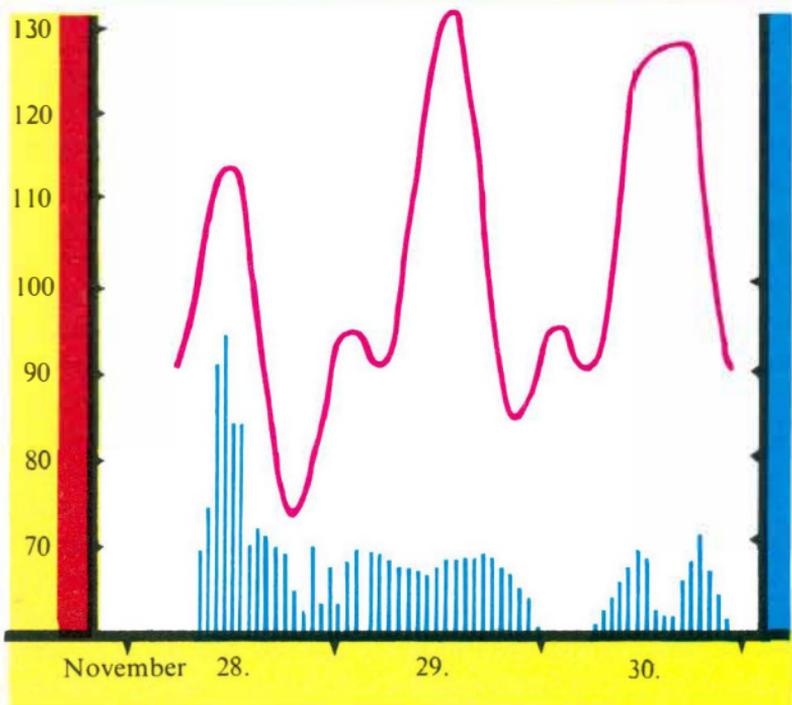
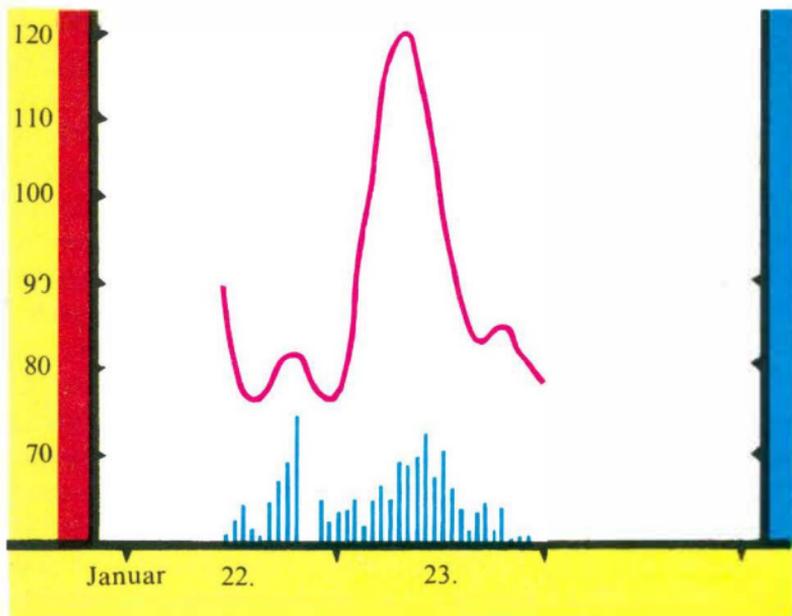
Zu einem positiven Resultat führten dagegen die jahre-

langen Registrierungen von Mikroerdbeben, die auf dem zur Aleutengruppe gehörenden Inselvulkan St. Augustin an der Mündung des Cook in Alaska vorgenommen wurden. Wie schon der Name ausdrückt, handelt es sich bei den Beben um sehr schwache Ereignisse, die nur lokale Auswirkungen haben. Die an dem genannten Vulkan vorgenommenen Erschütterungsmessungen zeigten vor und nach kleinen vulkanischen Ausbrüchen deutliche Anhäufungen von Mikrobeben, deren Herdtiefen sehr gering waren. An den Beobachtungen fiel auf, daß es in der Beben­­tätigkeit einen täglichen Gipfel gab. Wie eine statistische Auswertung der Meßreihe erwies, zeigt das tägliche Maximum der Beben­­tätigkeit eine ausgeprägte Beziehung zur Größe der Gezeitenbeschleunigung und zum Maximum der ozeanischen Gezeitenbelastung am Beobachtungsort. Es wird vermutet, daß beide Gezeitenkomponenten so zur Bodendeformation beitragen, daß Mikrobeben ausgelöst werden. Die Untersuchungsergebnisse lassen außerdem erkennen, daß für eine effektive gezeitenbedingte Steuerung der Mikrobeben­­tätigkeit die Gezeitenbelastung eine bevorzugte Richtung haben muß.

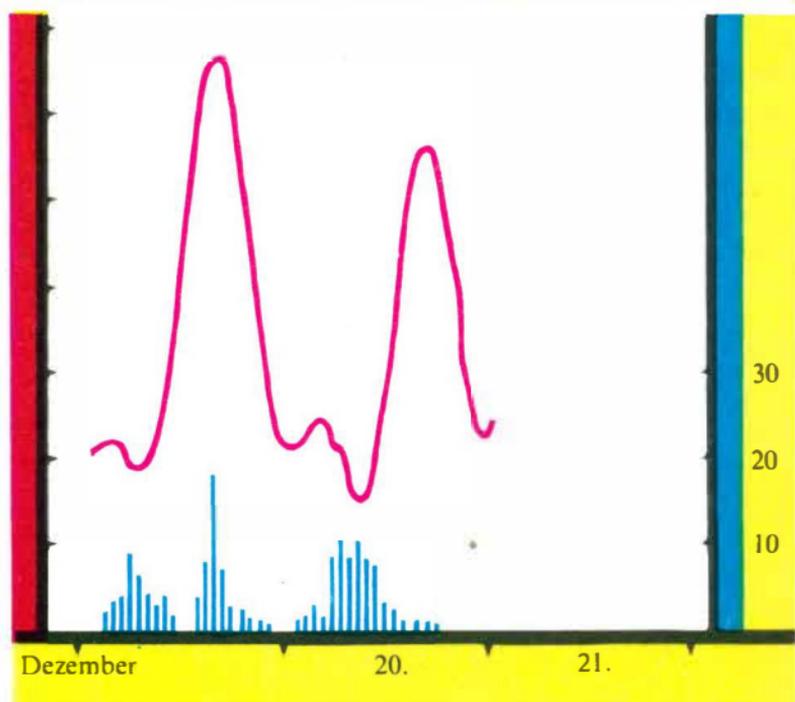
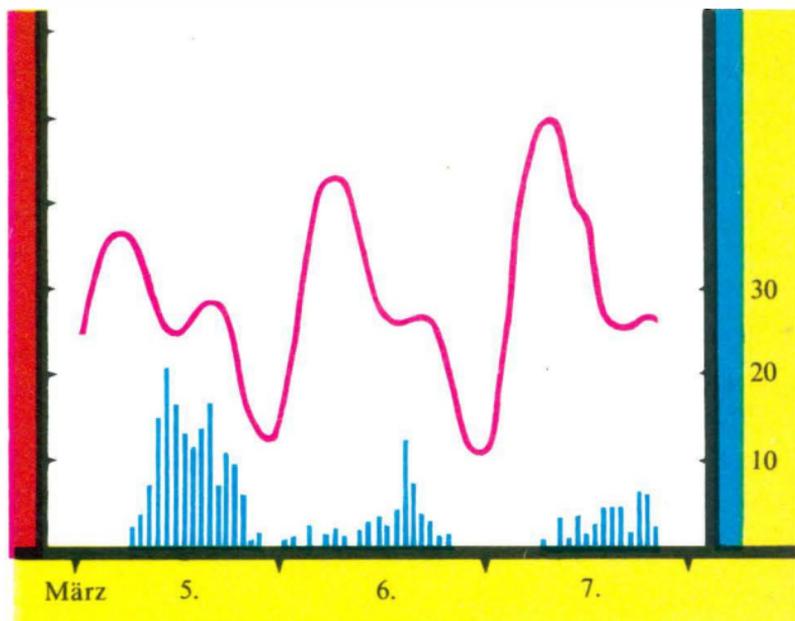
Selbstverständlich sind aus der Beobachtung der vulkanischen Beben­­tätigkeit eines einzigen Inselvulkans noch keine allgemeingültigen Schlüsse über das Verhalten anderer Inselvulkane zu ziehen. Wichtig ist hier erst einmal die Feststellung, daß es überhaupt einen Fall gibt, in dem die durch vulkanische Ausbrüche angeregte Mikrobeben­­tätigkeit eines exponiert stehenden Vulkans dann von den Gezeiten beeinflußt wird.

Die Gezeitenwelle der Lufthülle und ihr Einfluß auf das Wetter

Die irdische Atmosphäre ist wie die Wasserhülle der Erde beweglich und reagiert ähnlich wie sie auf die Gezeitenkräfte. Dadurch bauen sich »Luftberge« auf, deren Ausmaß aber verhältnismäßig gering ist. Die Ursache dafür liegt in der geringen Gezeitenkraft des Mondes auf die Atmosphäre. Das erscheint zunächst verblüffend, zumal der gleiche Himmelskörper auf die irdische Wasserhülle



Vor und nach einem kleinen Ausbruch im Oktober 1971 wurden auf St. Augustin Schwärme von Mikroeben registriert. Die Länge der blauen Balken zeigt ihre Anzahl. Die Mikroeben traten mit



kleinen zeitlichen Verzögerungen vor allem auf, wenn die Gezeitenbeschleunigung und die Bodenbelastung durch die Flut (rote Kurven, Angaben in mgal) Maximalwerte durchlaufen hatten.

eine größere Gezeitenkraft ausübt. Der Grund für das paradoxe Verhältnis besteht in der physikalischen Definition der Kraft selbst. Sie ist nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz in unserem speziellen Fall proportional dem Produkt aus Mondmasse und Luft- bzw. Wassermasse dividiert durch das Quadrat der Mondentfernung. Da die Mondmasse unveränderlich ist, kommen nur die Massen der von ihm angezogenen Körper als diejenigen Größen in Betracht, die für die verschiedenen großen Gezeitenkräfte verantwortlich sind. Tatsächlich ist die Masse des gesamten Wasservorrates der Erde sehr viel größer als die Gesamtmasse ihrer Atmosphäre. Beachtet man diesen Umstand, dann wird verständlich, warum die Erdatmosphäre in ihrer Gesamtheit auf die Gezeiten nur schwach reagiert und die hervorgerufenen Luftdruckschwankungen sehr gering sind. Ihr Nachweis ist darum äußerst schwierig, weil die Luftdruckänderungen durch die Sonneneinstrahlung und durch das Wettergeschehen sehr viel stärker sind. Die Gezeiten in der Hochatmosphäre sind dagegen recht stark ausgeprägt. Der in der Hochatmosphäre hervorgerufene Gezeitenwind erreicht die mittleren Windgeschwindigkeiten.

Über die Beeinflussung des Wettergeschehens durch den Mond gibt es eine ganze Anzahl volkstümlicher Regeln, die als »Bauernregeln« bekannt sind. Sie entstanden als Ergebnis der naiven Naturbeobachtung vor allem der Landbevölkerung und enthalten meistens einen realen Kern. Wesentlich ist aber, daß die Verknüpfung der darin enthaltenen verschiedenen Sachverhalte nicht richtig ist. Ein Beispiel dieser Art ist etwa die Regel, wonach im Winter bei Vollmond mit starkem Frost zu rechnen ist. Tatsächlich sinken in klaren Vollmondnächten im Winter die Temperaturen vor allem über Schneeflächen stark ab. Daran ist aber nicht der Vollmond schuld, sondern die fehlende Wolkendecke, die sonst die Wärmeabstrahlung vom Erdboden in den Weltraum vermindert. Der Mond hat also ursächlich mit der starken Abkühlung nichts zu tun. Er signalisiert uns nur in anschaulicher Weise, daß wir wolkenlosen Himmel haben. Die gleiche starke nächtliche Abkühlung tritt auch in klaren Neumondnächten ein.

Von seiten der Meteorologen hat es nicht an Versuchen

gefehlt, lunare Wettereinflüsse nachzuweisen. Insgesamt gesehen sind die Ergebnisse, die für einen Mondeinfluß sprechen, zahlenmäßig recht gering. Ein positives Resultat soll in diesem Zusammenhang zitiert werden. Es handelt sich um eine Untersuchung der Gewitterhäufigkeit in den USA. Der dabei erfaßte Zeitraum erstreckt sich über 25 Jahre. Wie die Auswertungen des umfangreichen Beobachtungsmaterials ergaben, treten die meisten Gewitter zwei Tage nach Vollmond auf. Über die Ursache dieses merkwürdigen Zusammenhangs bestehen bisher nur Vermutungen. Nach einer gegenwärtig bevorzugten Hypothese kann der Mond beim Passieren des geomagnetischen Schweifes Störungen in ihm hervorbringen. Der geomagnetische Schweif ist ein von der Sonne weggerichteter und von ihr beeinflußter Ausläufer des irdischen Magnetfeldes, der noch über die Mondbahn hinausreicht. Die vom Mond hervorgebrachten Störungen im geomagnetischen Schweif sollen in die Atmosphäre übertragen werden und sich dort auf die Bildung von Gewittern auswirken.

Das Fortpflanzungsverhalten einiger Meerestiere

Alljährlich vor dem letzten Mondviertel in den Monaten Oktober und November fahren die Bewohner der polynesischen Inseln im Stillen Ozean mit ihren Booten zum Fang eines unscheinbaren Meeresbewohners, des Palolowurmes, aus. Er gehört zu den sogenannten Kiefer(Borsten-)würmern und lebt in den Korallenbänken. Zur Fortpflanzungszeit stoßen die Palolowürmer ihren hinteren Körperabschnitt mit den Geschlechtsprodukten ab, der dann im Wasser treibt. Für die Inselbewohner der Samoa-, Fidschi-, Tamo- und Gilbert-Inseln ist der Hinterleib des Palolowurmes eine beliebte Nahrung.

Bemerkenswert und im Hinblick auf den vermuteten Einfluß des Mondes interessant ist die Pünktlichkeit, mit der der Palolowurm für seine Arterhaltung sorgt. Immer zur Zeit einer bestimmten Mondphase, kurz vor dem letzten Viertel, vollzieht sich der geradezu verschwenderische

Ausstoß der geschlechtsreifen Eier und des Spermias in das Wasser. Leider ist über die Ursachen des einwandfrei funktionierenden Mechanismus gegenwärtig noch wenig bekannt. Ein Grund dafür ist die Tatsache, daß bisher mit dem Palolowurm kaum Experimente angestellt wurden. Durch die experimentellen Erfahrungen mit einer anderen Tierart, die ebenfalls einen lunaren Fortpflanzungsrythmus zeigt, ließen sich aber einige Kenntnisse über die möglichen Ursachen der eigentümlichen Verhaltensweise sammeln. Es handelt sich bei der untersuchten Tierart um eine im Helgoländer Gezeitenwatt lebende Mückenart. Sie schlüpft und schwärmt im Sommer bei Ebbe während der Vollmond- und Neumondzeit. Die Beobachtungen ergaben, daß die Mückenart weder durch das Mondlicht noch durch die Gezeiten oder deren Höhe zur Fortpflanzung angeregt wird. Dagegen zeigt der Auslösemechanismus für die massiven Aktionen bei der Arterhaltung eine enge Korrelation zum Phasenwechsel des Mondes, hängt also mit der ständig wechselnden Stellung von Mond, Erde und Sonne zusammen. Es ist zu vermuten, daß für den Palolowurm ein ähnlicher Mechanismus wirksam ist.

Der in der Südsee lebende Palolowurm hat Verwandte an der Atlantikküste von Florida und auch an der japanischen Küste. Der japanische Palolowurm pflanzt sich ebenfalls zur Zeit des letzten Mondviertels fort, aber in den Monaten Juni und Juli.

Wenn auch der Palolowurm das bekannteste Beispiel einer Parallelität von Fortpflanzungsrythmik und lunarem Phasenwechsel ist, so darf man eine Anzahl weiterer niederer Tierarten nicht vergessen, die gleichfalls ein derartiges Fortpflanzungsverhalten zeigen. Wie entsprechende Untersuchungen ergaben, verläuft bei einigen freilebenden Ringelwürmern die Fortpflanzungsrythmik parallel zu den Voll- und Neumondphasen. Weitere Beobachtungen lassen erkennen, daß für einen Großteil von Hohl- und Pflanzentieren (Polypen, Medusen, Nesseltieren), Krebsen, Stachelhäutern (Haar-, Schlangens- und Seesternen, Seegurken), Weichtieren, Schnecken, Muscheln und Kopffüßern eine ähnliche Periodizität in der Fortpflanzung besteht. Auch für diese Tierarten ist der Mechanismus für das rätselhafte Fortpflanzungsverhalten noch unbekannt.

Auf jeden Fall ist durch diese strenge zeitliche Steuerung der männlichen Tiere und der weiblichen Tiere die Gewähr für die Befruchtung fast aller Eier gegeben und auf diese Weise die Arterhaltung optimal gesichert.

Die auffällige Übereinstimmung in der Periodizität des Fortpflanzungsverhaltens einiger in oder am Wasser lebender Tierarten und des Phasenwechsels des Mondes ist das entscheidende Argument, das für einen Einfluß des Erdbegleiters spricht. Trotzdem darf nicht ganz außer acht gelassen werden, daß es auch eine andere Erklärung dafür geben kann: Immerhin besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit dafür, beide Vorgänge könnten zufällig die gleiche Periode haben und uns daher nur einen Wirkungsmechanismus vortäuschen.

Steuerung des menschlichen Organismus?

Lange bevor man die mögliche Wirkung des Mondes auf Lebensrhythmen bei bestimmten Tieren in Betracht zog, hatten Ärzte die Frage nach dem Einfluß des Mondes auf den menschlichen Organismus gestellt und zu beantworten versucht. Sie schlossen aus ihren Beobachtungen, daß auf psychiatrisch Kranke – wie etwa auf Epileptiker – vom Mond her eine Einwirkung ausgeht. Von dieser alten und, wie jetzt feststeht, falschen Ansicht leitet sich auch der ältere Name der Epilepsie »morbus lunaticus« (»Mondkrankheit«) ab.

Selbstverständlich geht der Rahmen der bisher durchgeführten medizinischen Untersuchungen weit über die als Beispiel genannte Epilepsie hinaus und umfaßt neben den verschiedensten Erkrankungen und Krankheitsverläufen auch solche normalen Vorgänge wie Regelblutungen, Geburten und Todesfälle.

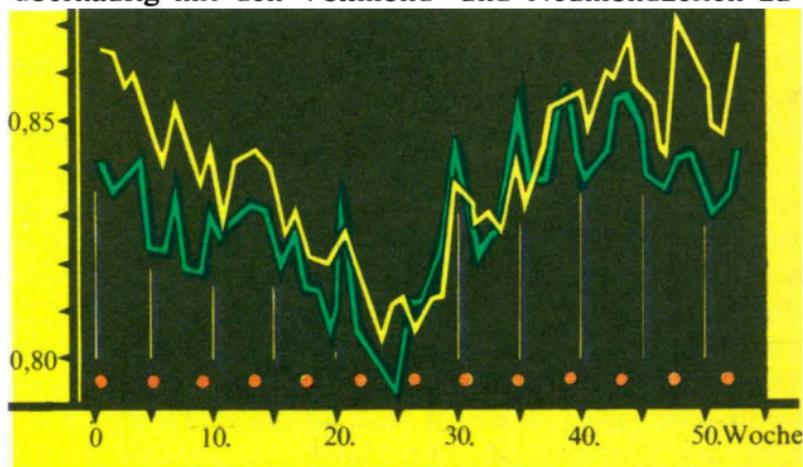
Der hochentwickelte menschliche Organismus ist einer ganzen Flut von Reizen aus seiner Umwelt ausgesetzt, auf die er individuell verschieden reagiert. Sollten unter dem ständigen Angebot von verschiedenartigen Reizen auch solche vom Mond sein, so müßten die dadurch ausgelösten Reaktionen aus der Gesamtheit der anderen Reaktionen »herausgesiebt« werden. Da die allgemeinen Erfahrungen

auf individuell gefärbte Körperreaktionen hinweisen, kann man diese Frage nur mit statistischen Erhebungen klären. Erst durch ein zahlenmäßig großes Beobachtungsmaterial werden eventuell objektiv vorhandene Zusammenhänge gegenüber den individuell unterschiedlichen Reaktionen sichtbar. Physikalisch begründbare Einflüsse des Mondes sind unmittelbar oder mittelbar in erster Linie zu erwarten durch die von ihm ausgeübten Schwerkrafteinwirkungen und eventuell durch seinen Lichtwechsel wegen der sich ständig ändernden Konstellation von Sonne, Mond und Erde. Beide Einflüsse sind direkt mit den Mondphasen verknüpft und wiederholen sich deshalb nach dem Ablauf eines synodischen Monats, d. h. alle 29,5 Tage. Falls überhaupt ein lunarer Einfluß bestehen sollte, dann müßte er sich durch eine statistisch gesicherte Häufung oder das Ausbleiben von bestimmten Reaktionen oder Ereignissen verraten, deren Periode 29,5 Tage beträgt.

An verschiedenen Kliniken wurden eine Reihe statistischer Erhebungen durchgeführt, um die Wirkung des Mondes auf die Geburtenhäufigkeit nachzuweisen. Dabei wurden im Mindestfalle rund 11 000 und maximal etwas mehr als 157 000 Geburten ausgewertet. Nur bei dem vom Umfang her kleineren statistischen Material ist ein Mondeinfluß angedeutet: eine Geburtenhäufung zu Voll- und Neumond bzw. im ersten und letzten Viertel. Allein schon die Widersprüchlichkeit der voneinander unabhängigen Untersuchungsergebnisse ruft berechtigte Zweifel an der Realität des Effektes hervor. Sie werden durch die umfangreichen Geburtenstatistiken voll bestätigt, die bei erhöhter statistischer Sicherheit ihrer Aussagen keine Geburtenhäufungen zu den genannten Mondphasen erkennen lassen. Zum gleichen negativen Ergebnis führten die statistischen Untersuchungen von Sterbefällen, Regelblutungen, Infektionskrankheiten und einigen psychischen Krankheiten (Manien). Zumindest ist der lunare Einfluß zu schwach, um ihn von anderen Einwirkungen geophysikalischer oder meteorologischer Art isolieren zu können. Wahrscheinlich liegt sogar überhaupt keine lunare Einwirkung auf Krankheiten und andere Lebensvorgänge vor. Auf jeden Fall wird der althergebrachte Volksglauben durch die moderne Forschung auf diesem Gebiet stark

erschüttert, wenn nicht sogar in das Reich der Fabel verwiesen.

Eine Ausnahme scheint die Untersuchung der spektralen Verteilung der Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges zu bilden. Die bei zwei Farben (gelb und grün) durchgeführten Messungen wiesen eine jährliche Schwankung nach. Sie beruht darauf, daß im Sommer die Farbe Grün etwas heller empfunden wird als die Farbe Gelb. Die umgekehrten Verhältnisse liegen im Winter vor. Als Ursache für die langfristige Veränderung der spektralen Empfindlichkeitskurve wird der unterschiedliche Vitaminhaushalt des menschlichen Körpers angesehen. Der jahreszeitlichen Kurve sind kleinere sägezahnartige Schwankungen überlagert, deren Maxima und Minima statistisch überhäufig mit den Vollmond- und Neumondzeiten zu-



das Hellsehen der Augen um einen ganz geringen Betrag nach dem kurzwelligen Spektralbereich verschoben ist. Dadurch wird das Blau gegenüber dem Rot etwas heller empfunden. Um die Vollmondzeit ist die Empfindlichkeitskurve der Augen auf der Wellenlängenskala in die entgegengesetzte Richtung, zu längeren Wellenlängen, verschoben, und das Rot ruft eine etwas stärkere Empfindung als das Blau hervor.

Das Guppy-Auge im wissenschaftlichen Kreuzverhör

Eine ergänzende Information zur Verschiebung der spektralen Hellempfindlichkeit des Sehorgans im Rhythmus des Mondumlaufs stellt die Entdeckung eines ähnlichen Effektes bei einem bekannten Zierfisch, dem Guppy, dar. Für die erforderlichen Messungen wurde ein sinnreiches Experiment ausgedacht, das auf dem Orientierungsverhalten der Fische beruht. Sie werden durch ihr Gleichgewichtsorgan in die Lage versetzt, im Wasser senkrecht zu schwimmen. Da es im bewegten Wasser kurzzeitig versagen kann, liefern Lichtreize eine zusätzliche Orientierungshilfe. Im Normalfall fällt das Licht im Wasser senkrecht von oben ein, und beide Anzeigesysteme gelangen bei der Ausrichtung des Fisches zum gleichen Ergebnis. Im Laboratorium kann aber aus jedem Einfallswinkel gegen die Richtung der Erdanziehungskraft Licht in das Aquarium eingestrahlt werden. Das ist der Grundgedanke des Experiments. Fällt Licht seitlich unter beliebig wählbaren Einfallswinkeln in das Aquarium ein, dann schwimmen die Versuchsfische in einer Schräglage, die sich aus dem Zusammenwirken der beiden Orientierungssysteme ergibt. Bei den Experimenten wird also der Winkel der Schräglage bestimmt, während die Farbe des einfallenden Lichtes und seine Intensität verändert werden. Selbstverständlich sind die Messungen über hinreichend große Zeiträume, d. h. mindestens über die Dauer eines Monats, auszudehnen. Der Schräglagewinkel des Fisches wird durch sein Orientierungsverhalten zu einem Maß für die spektrale Verteilung der Hellempfindlichkeit seiner Augen. Neigt sich

beispielsweise der Fisch beim Umschalten von farbigem Licht auf weißes Licht gleicher Intensität noch stärker auf die Seite, so ist das ein Anzeichen, daß er das weiße Licht heller empfindet als das farbige und umgekehrt.

Die Auswertung der Experimente ergab, daß die Gelbempfindlichkeit der Versuchstiere zur Neumondzeit relativ am schwächsten ist und zur Vollmondzeit ihren Höchstwert erreicht. Gerade umgekehrt sind die Verhältnisse im violetten Licht. Da fällt das Maximum der spektralen Empfindlichkeit in die Neumondzeit und das Minimum in die Vollmondzeit. Die periodischen Verschiebungen auf der Wellenlängenskala bewirken faktisch eine Änderung der Empfindlichkeit für die herausgegriffenen Farben um einen Faktor 10.

Die entgegengesetzt verlaufenden Empfindlichkeitsschwankungen der Augen für die Farben gelb und violett (analoge Ergebnisse wurden mit anderen Farben erzielt) können als Beweis dafür angesehen werden, daß mit den Meßreihen tatsächlich spektrale Empfindlichkeitsschwankungen des optischen Sinnesorgans erfaßt wurden und nicht ebenfalls denkbare Veränderungen in der Anzeige des Gleichgewichtsorganes. Die beschriebenen Effekte konnten auch nachgewiesen werden, wenn die Versuchstiere im Hellen aufgezogen und ständig dort gehalten wurden. Auf diese Weise wurde der tägliche Hell-Dunkel-Wechsel künstlich unterdrückt.

Die Ursachen für die parallel mit dem Mondlauf vor sich gehenden Veränderungen in der spektralen Empfindlichkeitsfunktion sind noch nicht bekannt. Bisher ließ sich nur feststellen, daß solche veränderlichen Einflüsse wie Beleuchtung, Luftdruck und Gezeitenkräfte offensichtlich nicht dafür verantwortlich sind.

Die Vielfalt der Erscheinungen auf der Sonne

Die ungestörte Sonne im Fernrohr

Die für astronomische Begriffe geringe Entfernung der Erde von der Sonne versetzt uns in die Lage, gelegentlich schon mit bloßem Auge Einzelheiten, d. h. große Flecken, auf der Sonne sehen zu können. Sehr viel mehr Oberflächendetails können wir bei Fernrohrbeobachtungen wahrnehmen. Bereits auf den ersten Blick fällt die auch bei starker Vergrößerung scharfe Begrenzung des Sonnenrandes auf. Sie beruht auf der schon erwähnten Dicke der Photosphäre von nur 500 km, die unter der Auflösungsgrenze der Fernrohre bleibt.

Im Fernrohrbild der Sonnenscheibe ist auch ohne Mühe der Helligkeitsabfall von der Mitte zum Rande hin zu erkennen. Verantwortlich für die sogenannte Randverdunklung ist eine Temperaturerhöhung innerhalb der Photosphäre von den äußeren Schichten nach den weiter innen gelegenen. Da man in der Mitte der Sonnenscheibe etwas tiefer in die Photosphäre hineinsehen kann als bei dem mehr streifenden Einblick in den randnahen Zonen, werden in der Mitte Gebiete höherer Temperatur wahrgenommen, von denen auch mehr Strahlung ausgeht. Als Folge davon ist dort die beobachtete Helligkeit um einen merklichen Betrag größer.

Bei einer genauen Betrachtung der Photosphäre unter günstigen atmosphärischen Bedingungen läßt sich ihre körnige Struktur, die sogenannte Granulation, erkennen. Das Aussehen der an Reiskörner erinnernden hellen und dunklen Strukturelemente von etwa 1000 km Durchmesser ist einem ständigen Wechsel unterworfen. Schon innerhalb

weniger Minuten lösen sich die einzelnen Granulen auf, und an ihre Stelle treten neue. Wir blicken hier auf die Obergrenze einer brodelnden Schicht, in der wabenmusterähnlich heiße Gassäulen aus tiefergelegenen Schichten aufsteigen und nach ihrer Abkühlung durch Abstrahlung in den Weltraum in den Zwischenräumen der heißeren Gebiete wieder absinken.

Oberhalb der Photosphäre ist die Materiedichte um viele Zehnerpotenzen geringer. Deshalb ist auch das von dem dort noch vorhandenen Gas ausgesandte Licht sehr viel schwächer und wird normalerweise vom intensiven Photosphärenlicht völlig überstrahlt. Lediglich bei totalen Sonnenfinsternissen, oder wenn man Zusatzeinrichtungen zur

*Anfangsphase (links) und Höhepunkt (rechts) einer starken Sonnen-
eruption in einem Aktivitätsgebiet*



Ausblendung der Photosphärenstrahlung verwendet, kann man die »Korona« genannte, äußerst dünne Gashülle um die Sonne beobachten. Während der Totalitätsphase einer Sonnenfinsternis wird die Korona, die sich über mehrere Sonnenradien erstreckt, auch für das bloße Auge sichtbar und strahlt in einem perlmuttfarbenen Licht, dessen Intensität nach außen abfällt. Eingelagert in die verwaschen leuchtende Scheibe der Korona sind helle Strahlen, die radial vom Sonnenrand nach außen laufen. Ihre Lage und Helligkeit ändert sich im Verlauf von Wochen und Monaten. Weitere manchmal auftretende Strukturelemente der Korona sind die koronalen Kondensationen. Es sind helle Knoten, die durch überhitzte Materie am Grund der Korona hervorgerufen werden. Die koronalen Kondensationen kommen – wie die Sonnenflecken – nur in zwei symmetrisch zum Sonnenäquator liegenden Breitengürteln vor. Die Temperatur in der Korona beträgt ungefähr eine Million Kelvin und ist damit sehr viel höher als in der Photosphäre. Es muß deshalb ein Mechanismus wirksam sein, der die Korona so stark aufheizt.

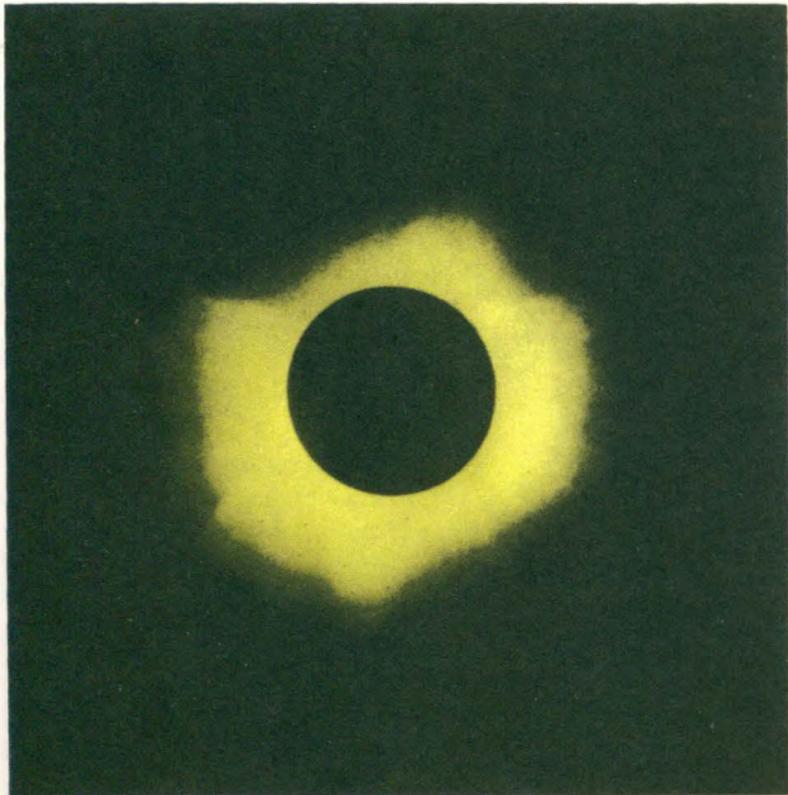
Von der Korona aus vollzieht sich der stetige Übergang von der Sonnenatmosphäre in den interplanetaren Raum. Bemerkenswert ist, daß wegen der hohen Koronatemperaturen von ihr ständig ein schwacher Strom elektrisch geladener Teilchen (überwiegend Wasserstoffkerne, Heliumkerne, Elektronen) ausgeht. Der Sonnenwind führt ein schwaches Magnetfeld mit sich, das seinen Ursprung in der Sonne hat. Ohne ihre Rotation würden sich wegen der radialen Ausbreitung des Sonnenwindes auch die mit ihm verbundenen magnetischen Kraftlinien radial nach außen erstrecken. So aber bleiben die Magnetlinien mit zunehmendem Abstand von der Sonne immer mehr hinter ihrer Rotationsbewegung zurück und wickeln sich zu einem spiralförmigen Muster auf.

Einige markante Aktivitätserscheinungen

An sehr vielen Tagen ist das gerade skizzierte Aussehen der Photosphäre durch verschiedenartige Störungen verändert. Die bekanntesten unter ihnen sind die im Vergleich

zur Photosphäre dunkel erscheinenden Sonnenflecken. Ihre Größe ist sehr unterschiedlich und umfaßt einen Bereich, der von einem im Teleskop gerade noch wahrnehmbaren dunklen Punkt bis zu Ausmaßen reicht, die ihre Beobachtung mit bloßem Auge erlaubt. Neben Einzelflecken und Fleckenpaaren treten auch ganze Gruppen von Flecken auf, die einen merklichen Teil der Sonnenoberfläche bedecken. In den Fleckengebieten durchdringen starke lokale Magnetfelder die Photosphäre. Die Feldstärke der

Nur bei totalen Sonnenfinsternissen oder mit Hilfe spezieller Verfahren kann die Sonnenkorona beobachtet werden. Die während der Sonnenfinsternis vom 9. Mai 1929 gewonnene Aufnahme zeigt die nach allen Seiten weggehenden hellen Koronastrahlen und die praktisch kreisförmige Korona. Diese Form der Korona ist kennzeichnend für Jahre mit maximalen Sonnenfleckenanzahlen. Während der Jahre mit geringen Sonnenfleckenanzahlen ist die Korona an den Polen deutlich abgeplattet.



Magnetfelder kann die Stärke des allgemeinen Magnetfeldes der Sonne um das 1000fache übertreffen.

Die Sonnenflecken sind verhältnismäßig kühle Stellen in der Photosphäre, da in ihnen nur eine Temperatur von rund 4600 Kelvin herrscht. Daher geht von den Flecken weniger Strahlung aus, und sie erscheinen dunkel. Eine Tatsache ist bei den Flecken erstaunlich und fordert geradezu zum Widerspruch heraus: Das Gas in ihnen tritt offensichtlich nicht mit den angrenzenden heißeren Gebieten in einen effektiveren Energieaustausch, der zu einem Temperaturengleich führen würde. Die Lösung des Rätsels ist darin zu suchen, daß die Magnetfelder der Flecken für eine Wärmeisolierung sorgen.

Die Lebensdauer der Flecken ist recht unterschiedlich. Kleinere Flecken lösen sich nach wenigen Tagen wieder auf, während größere Flecken oder Fleckengruppen eine Lebensdauer bis zu einigen Monaten erreichen. Innerhalb dieser Zeiträume machen die Flecken beträchtliche Formveränderungen durch. Die systematische Beobachtung der Sonnenflecken wird seit mehr als 350 Jahren betrieben und führte zur Entdeckung interessanter Gesetzmäßigkeiten. Am bekanntesten ist wohl die 11jährige Schwankung der Sonnenfleckenanzahlen. Die Änderung der Fleckenanzahlen geht kontinuierlich vor sich, d. h. vom Zeitraum mit der kleinsten Anzahl ausgehend, nimmt die Fleckenhäufigkeit bis zur größten Fleckenanzahl ständig zu. Nach dem Durchlaufen des Fleckenmaximums kehren sich die Verhältnisse um. Eine völlige Beruhigung der Aktivitätsercheinungen ist auch zur Zeit der Fleckenminima selten.

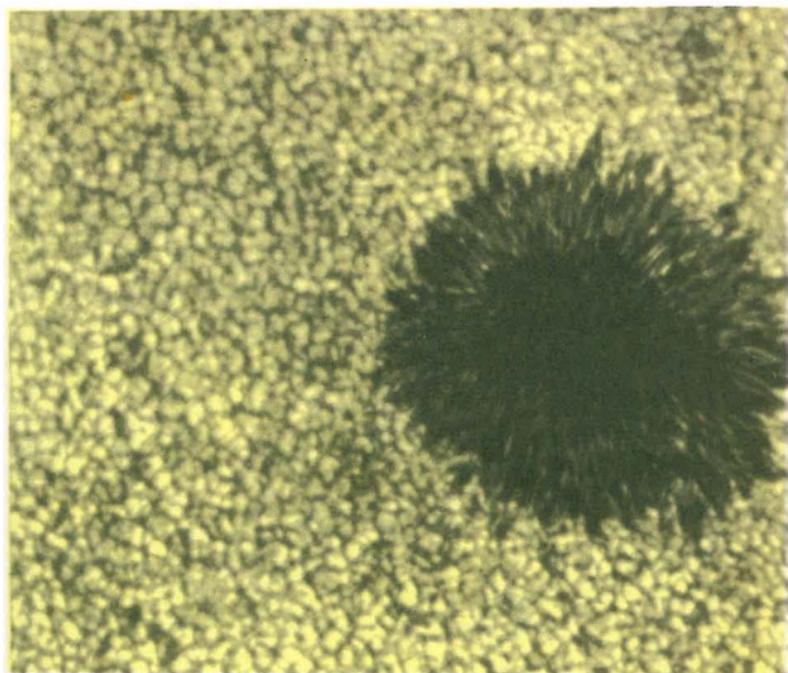
Oft ist in der Umgebung der Sonnenflecken die Photosphäre deutlich aufgehellert. Für solche Gebiete wurde die Bezeichnung Fackeln geprägt. Es sind Gaswolken, die sich in der Chromosphäre, einer Schicht zwischen der Photosphäre und der Korona, aufhalten und eine Temperatur besitzen, die um einige hundert Kelvin höher ist als die Umgebungstemperatur.

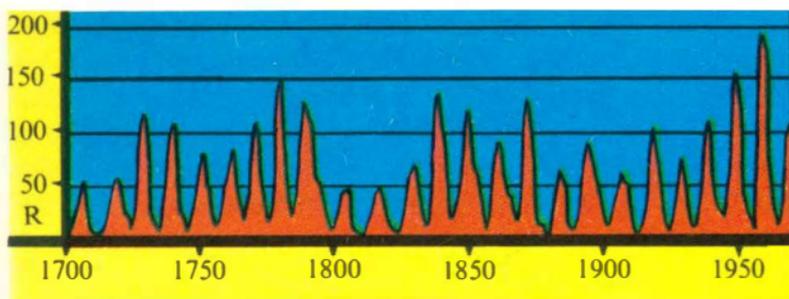
Bei totalen Sonnenfinsternissen wurde man auf hellrote Bögen und Strahlen aufmerksam, die in das schwache Licht der Korona eingebettet sind und über den Sonnenrand hinausragen. Die außerordentlich vielgestaltigen Erscheinungen werden als Protuberanzen (»Beulen«)

bezeichnet. Es sind meist lamellenartige, langgestreckte, bogenförmige Gaswolken, die aus der Photosphäre aufsteigen und in der Nachbarschaft von Fackelgebieten und Flecken auftreten. Sie können zum Teil monatelang in einer Art Ruhezustand verharren. Andererseits kann sich die Form der Protuberanzen innerhalb weniger Stunden völlig verändern und zu ihrer Auflösung führen. Mit geeigneten Hilfsmitteln lassen sich die Protuberanzen sogar vor der Sonnenscheibe sichtbar machen.

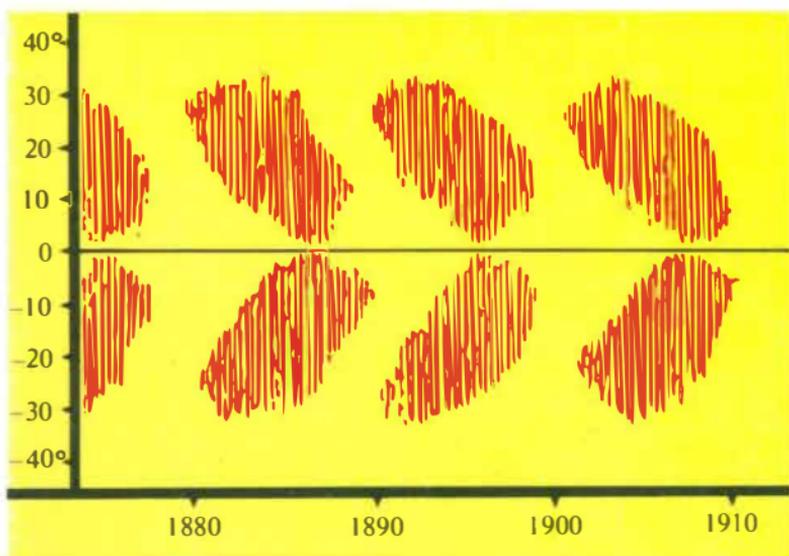
Neben den erwähnten verhältnismäßig langlebigen Störungen der Photosphäre treten auch kurzzeitige, d. h. innerhalb von Minuten bis wenige Stunden ablaufende

Die in der Stratosphäre mit einem Ballonteleoskop gewonnene Aufnahme läßt feinste Strukturmerkmale in einem Sonnenfleck erkennen. Seine Größe ist vergleichbar mit der der Erde. Gegenüber der Photosphäre ist das Fleckinnere kühler und erscheint auf der Aufnahme daher dunkel. Vom Fleckenrand gehen feine helle Streifen radial nach innen. Im Gebiet der Sonnenflecken durchdringen starke Magnetfelder die Photosphäre. Deutlich ist die Granulation der Sonnenoberfläche zu erkennen.





Die Häufigkeit der Sonnenflecken wird durch die Angabe der Fleckenrelativzahl R gekennzeichnet. Sie errechnet sich aus der Summe der 10fachen Anzahl der Fleckengruppen (g) und der Einzelflecken (f): $R = 10g + f$. Etwa alle 11 Jahre erreicht die Sonnenfleckenrelativzahl einen Höchstwert zur Zeit maximaler Sonnenaktivität. Wie aus dem Diagramm ferner abzulesen ist, gibt es sowohl Sonnenfleckenzyklen mit großen als auch solche mit kleinen Fleckenrelativzahlen.

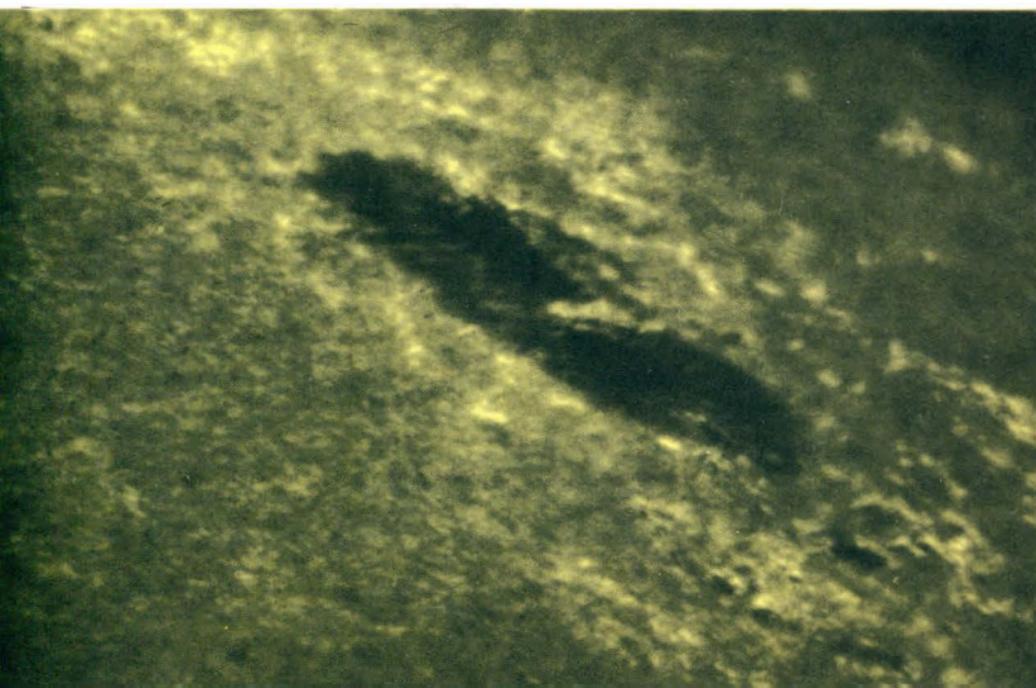


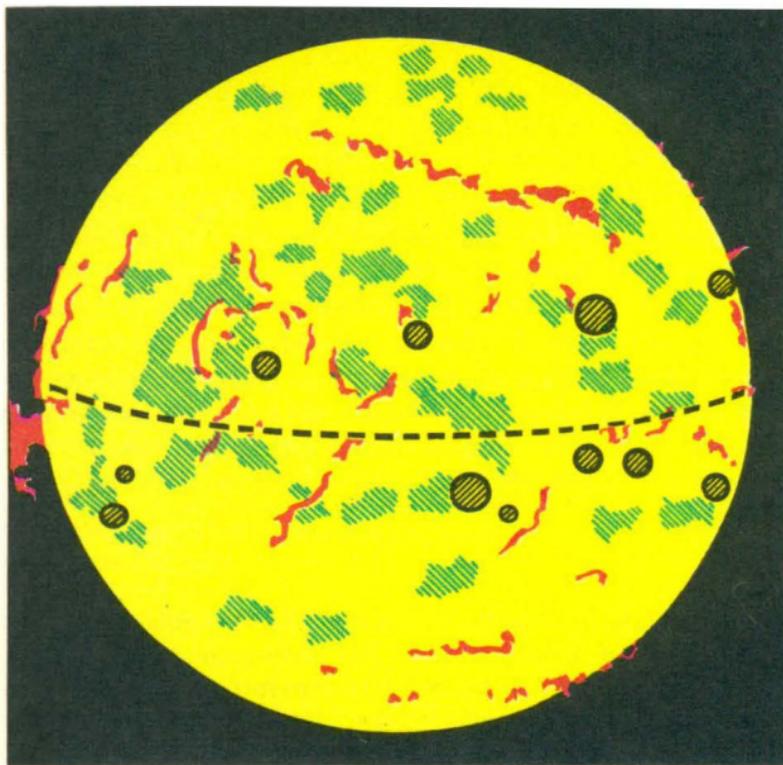
Im »Schmetterlingsdiagramm« ist für einen beliebig herausgegriffenen Zeitraum die heliographische Breite jedes Sonnenflecks in Abhängigkeit von der Zeit seines Auftretens eingetragen. Es zeigt sich, daß die Sonnenflecken praktisch nur in einem Gürtel symmetrisch zum Sonnenäquator auftreten. Außerdem ist zu erkennen, wie sich im Verlauf eines Sonnenfleckenzyklus die Entstehungsorte der Flecken von höheren heliographischen Breiten zum Äquator hin verlagern.

Erscheinungen auf. Es sind Strahlungsausbrüche in lokal begrenzten Gebieten, die sich dort als Helligkeitsanstiege bemerkbar machen. Im Verlauf solcher Eruptionen oder »flares« (engl., Aufflackern) wird – abgesehen von der am Erdboden beobachtbaren optischen Strahlung – ultraviolette Strahlung und Röntgenstrahlung ausgesandt. Ihr Betrag liegt beträchtlich über den Normalwerten und erhöht damit die gesamte von der Sonne ausgehende Strahlung im kurzwelligen Spektralbereich. Außerdem können bei den Eruptionen Wolken von Elektronen, Wasserstoffkernen (Protonen) und Atomkernen schwerer Elemente ausgestoßen werden. Die Eruptionen ereignen sich in der Chromosphäre über Fackel- und Fleckengebieten.

Einer Besatzung des Raumlaboratoriums »Skylab« ge-

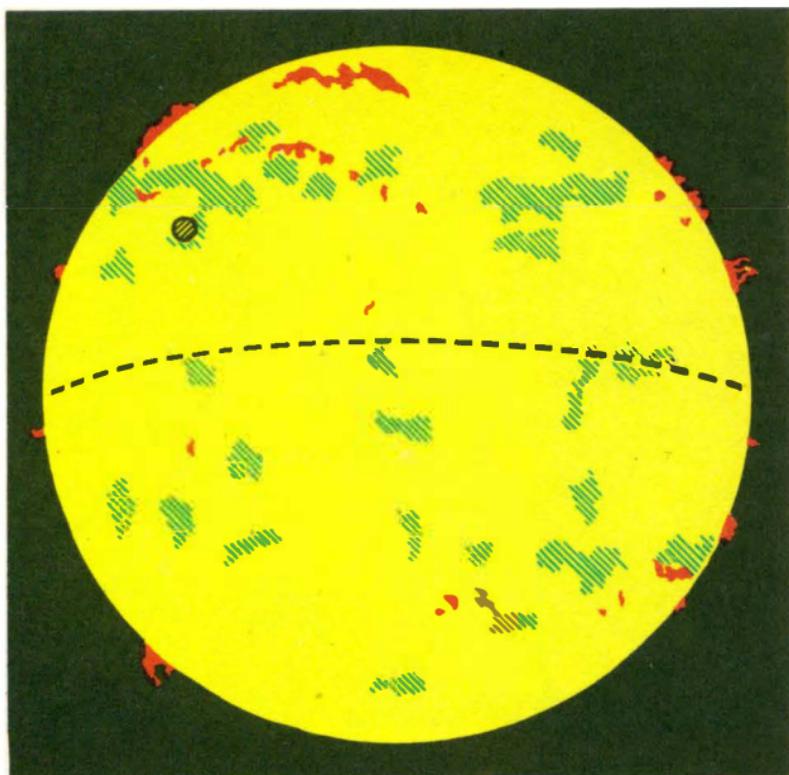
Die in der Nähe des Sonnenrandes liegende Sonnenfleckengruppe ist von Fackeln umgeben. Zum Teil stehen die hellen Knoten einzeln, teilweise ordnen sie sich perlschnurartig an. Die Fackeln sind Gaswolken über der Photosphäre, die um einige hundert Grad heißer sind als ihre Umgebung. Die Lebensdauer der Fackeln ist verhältnismäßig groß und kann mehrere Monate betragen. Auf der vom Erdboden aus gemachten Aufnahme ist die Granulation wegen der Luftunruhe nur teilweise und da auch nur undeutlich zu erkennen.





Von den Sonnenobservatorien wird die Sonne regelmäßig beobachtet. Die Ergebnisse werden in einer Zentralstelle (Fraunhofer Institut, Freiburg i. Br., BRD) zu einer Karte verarbeitet. Die Beispiele zeigen die Sonne zur Zeit maximaler Sonnenaktivität (links, 19. 8. 1960, Sonnenfleckenzahl $R = 187$) und minimaler Aktivität (rechts, 2. 3. 1966, $R = 10$). Schwarz schraffiert sind die Fleckengebiete. Die roten Gebilde symbolisieren Protuberanzen am Sonnenrand bzw. vor der Sonnenscheibe (die sogenannten Filamente). Grün schraffiert sind die Fackelgebiete. Der Sonnenäquator ist schwarz gestrichelt. Die nahezu lückenlose Überwachung der Sonne erlaubt es, die Entwicklung der Aktivitätsgebiete ständig zu verfolgen.

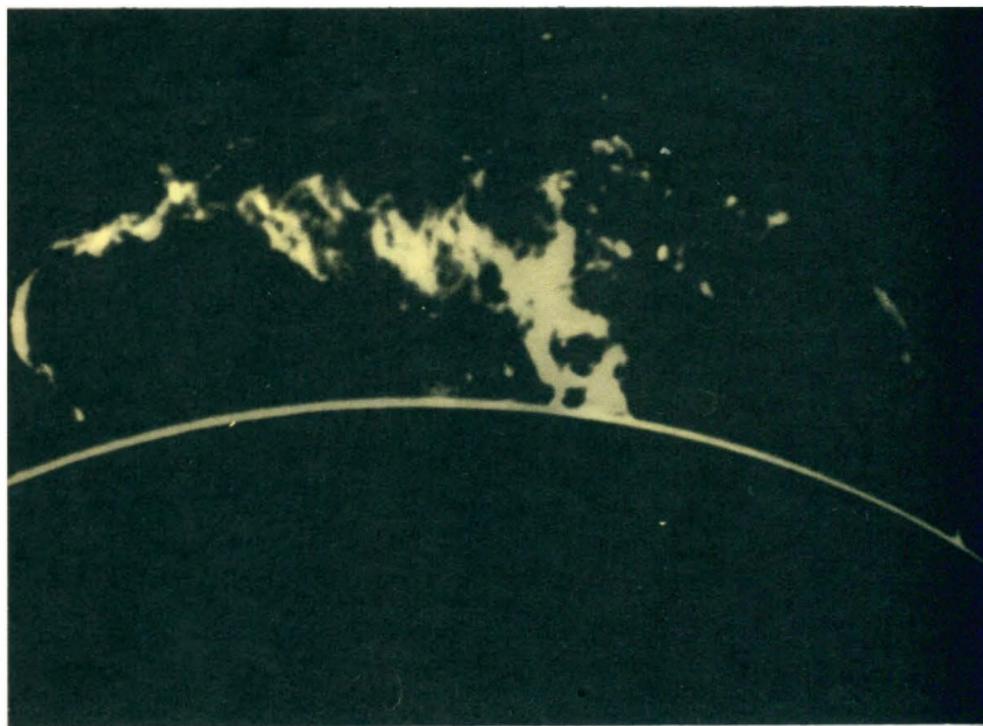
lang es, eine sehr starke Eruption auf der Sonne zu beobachten. Bei diesem Ereignis wurde eine Gaswolke ausgeworfen, deren Masse etwa siebenmal so groß war wie die der Erde. Die Strahlungsenergie entsprach ungefähr der Energiemenge, die – bezogen auf 1976 – von der Erdbevölkerung in 500 Jahren verbraucht wird.



Die Häufigkeiten der Protuberanzen, Fackeln und Eruptionen schwanken phasengleich mit den Sonnenfleckenzahlen in einem 11jährigen Rhythmus. Dieser Sachverhalt weist auf einen physikalischen Zusammenhang der verschiedenen Erscheinungen hin.

Eigentümlichkeiten der Rotation

Die systematische Beobachtung der photosphärischen Erscheinungen führte schon frühzeitig zum Nachweis der Sonnenrotation. Sie weist Besonderheiten auf, die wir von der Erdrotation nicht kennen. Die Sonne rotiert nämlich nicht wie ein starrer Körper, sondern am Äquator rascher als an den Polen. Dadurch bleiben die Zonen in höheren heliographischen Breiten gegenüber der Äquatorzone zurück, und zu jeder Angabe der Rotationsdauer muß hinzugefügt werden, für welche Breite sie gilt. Am Sonnenäquator beträgt die synodische Umlaufzeit 26,9 Tage.



Über dem durch eine Blende abgedeckten Sonnenrand erhebt sich eine Protuberanz. Sie ist ein Gasauswurf aus der Photosphäre. Im Vergleich zur Koronamaterie sind die Protuberanzen verhältnismäßig dichte Gaswolken. Die von einer Protuberanz ausgehende Strahlung ist viel intensiver als die der Korona. Daher ist auf der Aufnahme allein die Protuberanz abgebildet.

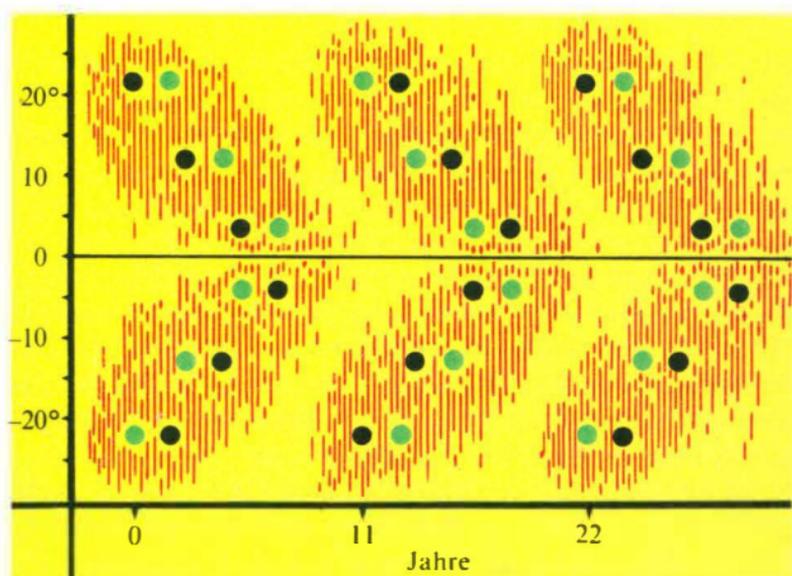
In ± 75 Grad heliographischer Breite dauert ein synodischer Umlauf schon 31,3 Tage. Aus praktischen Erwägungen heraus wird für die Fleckenzone eine mittlere synodische Rotationsdauer von 27,3 Tagen angenommen.

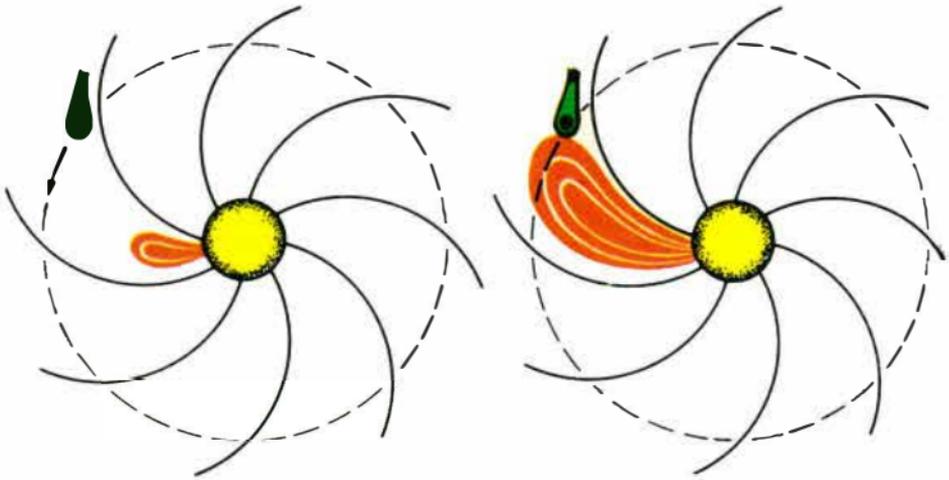
Die Rotationsgeschwindigkeit ist zusätzlich noch von der Höhe über der Photosphäre abhängig, und zwar rotieren die höher gelegenen Erscheinungen schneller als die tiefer gelegenen. Aus dem Zusammenspiel beider Anteile der Rotation stellen sich ziemlich verwickelte Strömungsverhältnisse in der Sonnenatmosphäre ein.

Der zeitliche Verlauf der Aktivitätserscheinungen

Zwischen den gerade beschriebenen Erscheinungen in und über der Photosphäre besteht eine enge räumliche und zeitliche Kopplung. Sie treten meistens in einem räumlich begrenzten Gebiet auf, das als Aktivitätszentrum bezeichnet wird. Es entsteht aus der zunächst ungestörten Photosphäre und durchläuft bis zu seiner Auflösung nach ungefähr einem halben Jahr einige charakteristische Entwicklungsphasen. Zunächst taucht in der Photosphäre ein Magnetfeld auf, das sich in den folgenden Tagen ausbreitet. Etwa gleichzeitig erscheinen einige Fackeln und die ersten kurzlebigen Protuberanzen. Nach etwa drei bis fünf Tagen

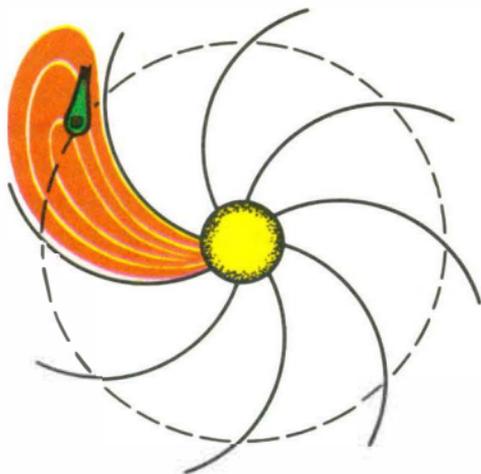
Innerhalb eines Fleckenzyklus ist die Anordnung der Magnetpole bei Fleckenpaaren charakteristisch. Hat auf der Nordhalbkugel der im Sinne der Rotationsrichtung vorangehende Fleck eines Paares einen magnetischen Südpol (grüner Fleck), so besitzen auf der Südhalbkugel alle vorangehenden Flecken von Paaren magnetische Nordpole (schwarzer Fleck). Mit jedem neuen Fleckenzyklus kehren sich diese Verhältnisse um. Daher sind nach jeweils 22 Jahren die alten magnetischen Anordnungen wiederhergestellt, die natürlich an völlig neuen Flecken beobachtet werden.





Die Skizze vermittelt einen Blick auf die Bahnebene der Erde, deren Bewegungsrichtung durch den Pfeil angedeutet ist. Die bei einer starken Eruption ausgeworfenen elektrisch geladenen Teilchen (rote Wolke) breiten sich entlang der Magnetlinien (schwarze Spiralen) des von der Sonne ausgehenden Magnetfeldes aus (links). Wenn die Teilchenwolke die Erde erreicht, wird ihre Magnetosphäre (grün) verformt, und der erdmagnetische Sturm setzt ein (Mitte). Später wird die Erde von der Teilchenwolke vollständig eingehüllt (rechts). Aus ihr dringen hochenergetische Teilchen in die Magnetosphäre ein.

ist das Aktivitätsgebiet auf einen Durchmesser von mehr als 50 000 km angewachsen, und die ersten Sonnenflecken entstehen. Sie vergrößern sich in der Folgezeit und bilden, nachdem weitere Flecken entstanden sind, schließlich eine ganze Gruppe. In den Gebieten zwischen den großen Flecken ereignen sich die ersten Eruptionen. Ungefähr zwei Wochen nach der Entstehung des Aktivitätsgebiets haben die Entwicklung der Fleckengruppe sowie die Stärke und Häufigkeit der Eruptionen ihren Höhepunkt erreicht. Das Fackelgebiet hat zu dieser Zeit einen Durchmesser von über 150 000 km. Später flauen die Aktivitätserscheinungen allmählich ab, und die Fleckengruppe zerfällt. In ihrer Nähe entsteht eine große Protuberanz, die noch für mehrere Sonnenumdrehungen in ihrem Ruhezustand verharrt. Während dieser Zeit schwächen sich die Fackeln und das



Magnetfeld immer mehr ab und verschwinden schließlich völlig. In der Schlußphase der Entwicklung löst sich auch die Protuberanz auf.

Neue aktive Gebiete entstehen an den Rändern zerfallender Aktivitätszentren, so daß nur eine geringfügige Ortsverlagerung auftritt. Sicherlich beruht die Häufungstendenz der Aktivitätszentren an bestimmten Orten der Sonnenoberfläche darauf, daß die unter der Photosphäre liegenden Quellen für die Entstehung der Aktivitätsgebiete an der Sonnenrotation teilnehmen.

Ablauf einer starken Sonneneruption

Betrachten wir nun die physikalischen Vorgänge, die bei Eruptionen ablaufen. Wie schon erwähnt, erhöht sich bei einer Eruption innerhalb weniger Minuten die von dem Gebiet ausgehende Strahlung, vor allem die kurzwellige. Gleichzeitig kann auch Materie ausgeschleudert werden. Das optisch wahrnehmbare Aufflammen des Eruptionsgebietes äußert sich vor allem in der Erhöhung der Strahlungsintensität bei einer charakteristischen Wellenlänge im roten Spektralbereich. Bei starken Eruptionen greift die sichtbare Aufhellung auch auf andere Spektralbereiche über. Gleichzeitig mit der sichtbaren Strahlung erhöht sich die Intensität der Ultraviolett- und Röntgenstrahlung sowie die Radiostrahlung im Dezimeter- und Meterwellengebiet.

Weil sich die Störstrahlung mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, wird das Ereignis mit der zeitlichen Verzögerung von 8,3 Minuten (Laufzeit des Lichtes von der Sonne zur Erde) beobachtbar. Dem steilen und nur wenige Minuten anhaltenden Anstieg der Strahlungsintensität schließt sich sofort nach dem Maximum ein langsames Absinken an, das sich über ein bis zwei Stunden erstreckt. Simultan mit dem Strahlungsausbruch können bei einer Eruption auch Wolken von Atomkernen und Elektronen ausgeworfen werden. Diese Teilchen sind elektrisch geladen und so schnell, daß sie gegen die entgegengesetzt gerichtete Anziehungskraft der Sonne die Sonnenatmosphäre verlassen können und außerdem noch Arbeit leisten, indem sie Magnetfelder in den interplanetaren Raum schleppen.

Aus den Beobachtungsdaten konnte man auch auf die Natur der Atomkerne schließen. Sie bestehen zum größten Teil aus Wasserstoffkernen (Protonen), so daß man die heftigen solaren Ereignisse als Protoneneruptionen bezeichnet.

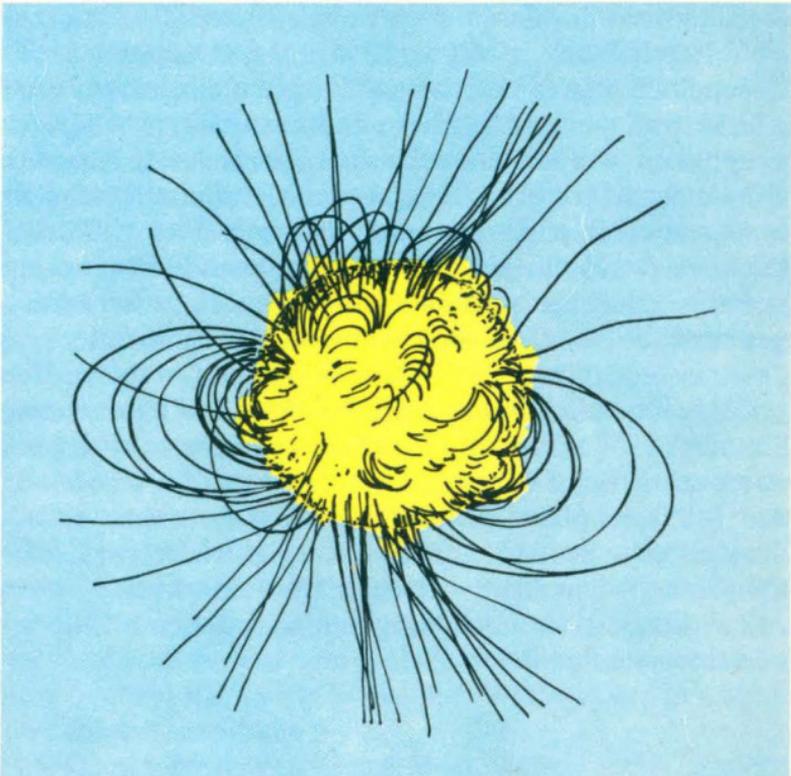
Die bei einer Eruption gebildeten Teilchenwolken durchqueren mit Geschwindigkeiten von einigen hundert Kilometern pro Sekunde den Sonnenwind. Dabei bewegen sich die im Vergleich zum Sonnenwind dichteren Wolken in der Nähe der Sonne radial von ihr weg. An der Vorderseite der Wolken befinden sich die energiereichsten und deshalb schnellsten Teilchen, die die Entfernung Sonne – Erde bereits nach einer Stunde »Reisezeit« überwunden haben. Ihnen folgen die langsameren Protonen und Ionen (fast ausschließlich Heliumkerne) sowie Elektronen. Die langsameren Teilchen benötigen etwa 20 bis 40 Stunden, ehe sie auf der Erde eintreffen. Durch diese unterschiedlichen Laufzeiten der Wellen- und Teilchenstrahlung ziehen sich deren Auswirkungen auf die Erde über ein verhältnismäßig großes Zeitintervall hin.

Vorhersage von Eruptionen

Die im erdnahen Raum und auf der Erde ausgelösten Störungen betreffen in erster Linie das irdische Magnetfeld und die oberen Schichten der Erdatmosphäre. Die dort

hervorgerufenen Veränderungen können dann auch die Ursache für Einflüsse auf die Welt der Lebewesen sein. Deshalb ist man sehr daran interessiert, den Wirkungsmechanismus einer Eruption aufzudecken. Wie sich bei den Untersuchungen herausstellte, nimmt das verstärkte lokale Magnetfeld eines Aktivitätsgebietes eine Schlüsselposition ein. Das lokale Magnetfeld kontrolliert nicht nur die Entwicklung eines Aktivitätsgebietes, sondern scheint es sogar hervorzurufen. Deshalb wurden vor allem die Veränderungen der lokalen Magnetfelder beobachtet. Dabei stellte man einige Gesetzmäßigkeiten fest, auf denen die Vorher-

Der Verlauf der Magnetfelder über der Sonnenoberfläche kann aus den Beobachtungen abgeleitet werden. In der Zeichnung ist der Verlauf der Magnetfelder durch die schwarzen Linien veranschaulicht. Die Magnetfelder außerhalb der Polgebiete stehen mit Aktivitätszentren in Verbindung.



sagen von Eruptionen beruhen. Verständlicherweise sind bei der Kompliziertheit der physikalischen Vorgänge diese Prognosen noch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. So beträgt die Sicherheit einer Vorhersage über einen Zeitraum von 3 Tagen etwa 80 %, das ist nicht viel schlechter als die Sicherheit einer Wettervorhersage für den gleichen Zeitraum. Wird der Zeitraum der Vorhersage jedoch auf 10 Tage erhöht, so sinkt die Wahrscheinlichkeit auf rund 60 % ab. Die Sicherheit der Prognosen läßt sich erhöhen, wenn es gelingt, den der Eruption (der englische Ausdruck »flare«, flackern, charakterisiert die Erscheinung im übrigen besser) zugrundeliegenden Mechanismus besser zu verstehen.

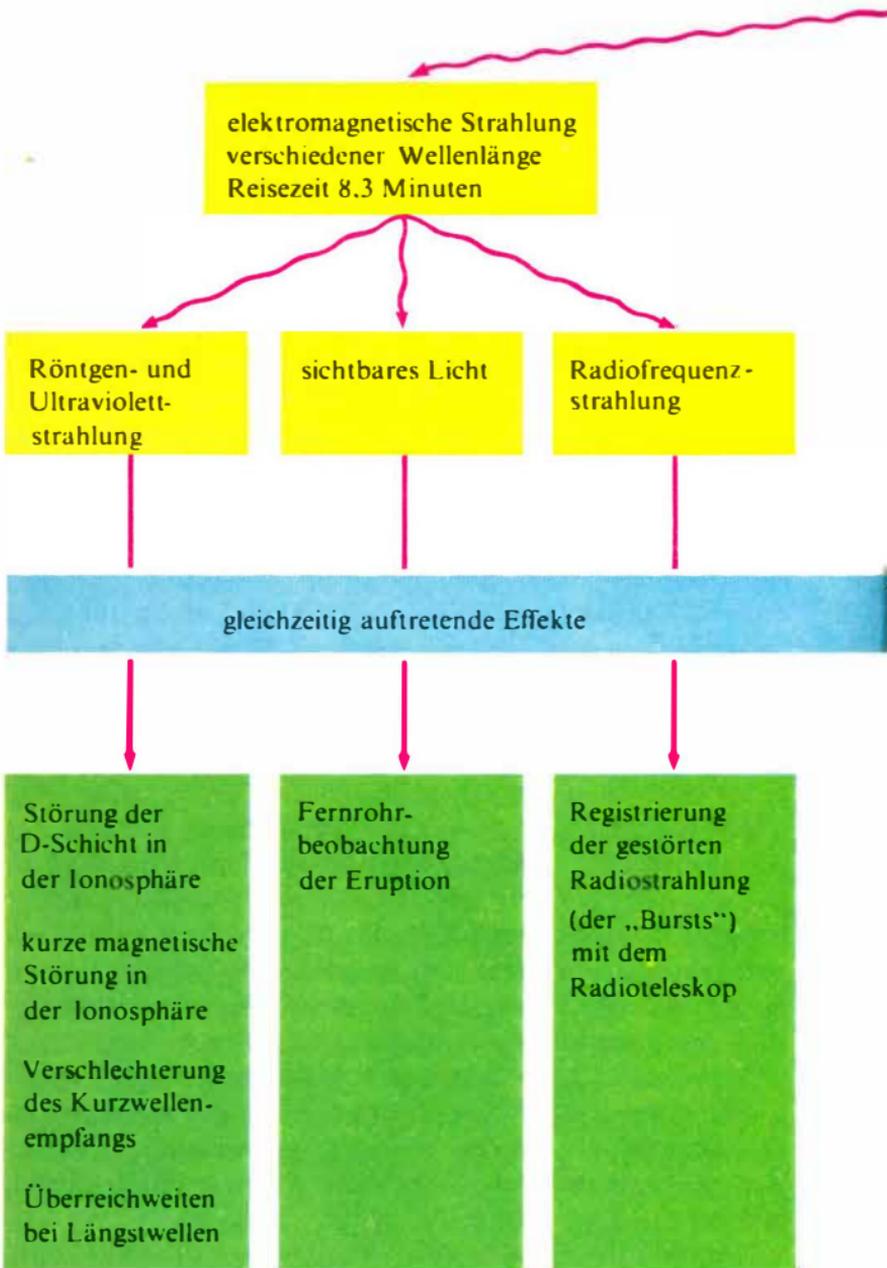
Nach langjährigen Statistiken ereignen sich zu Zeiten der Sonnenfleckenmaxima täglich 5 bis 10 Eruptionen, während in den Jahren minimaler Sonnenaktivität nur alle 2 Tage eine Eruption beobachtet wird. Diese Angaben sagen noch nicht viel darüber aus, wieviel flares auf der Erde tatsächlich Störungen auslösen. Eine Statistik über die Intensität der Eruptionen weist aus, daß die schwächsten Erscheinungen mit 79 % den Löwenanteil an der Gesamtzahl stellen. Die zweithäufigsten Eruptionen sind mit 18 % diejenigen mittlerer Stärke, und nur 3 % aller Eruptionen werden als sehr stark bezeichnet. Aus den Zahlenangaben läßt sich die mittlere jährliche Häufigkeit für die unterschiedlich starken Eruptionen ableiten. Für die stärksten flares, die wegen ihrer deutlichen Einflußnahme auf unsere Lebenssphäre auch Schlagzeilen in den Zeitungen machen, ergeben sich während der Sonnenfleckenmaxima ungefähr neun Ereignisse im Jahr, in den Jahren geringer Sonnenaktivität tritt eine derartige Erscheinung nur alle zwei Jahre auf. Die Zahlenangaben verkörpern obere statistische Grenzwerte, weil wegen der Bündelung der Teilchenwolken im interplanetaren Raum nur flares, die sich nahe der Mitte der Sonnenscheibe ereignen, Wirkungen auf der Erde hervorrufen. Die physikalischen Auswirkungen der viel häufigeren schwächeren Eruptionen sind recht gering.

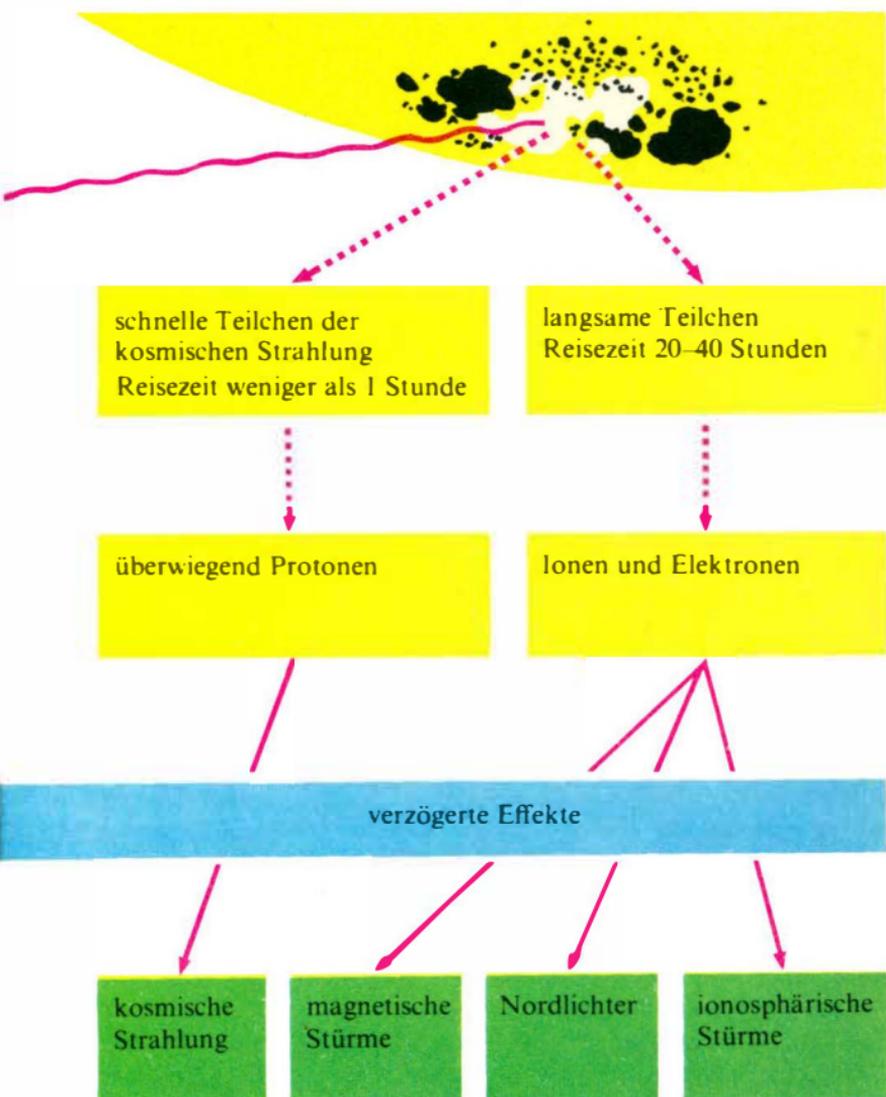
Die Wirkungen der solaren Störungen auf der Erde

Sendepause auf der Kurzwelle

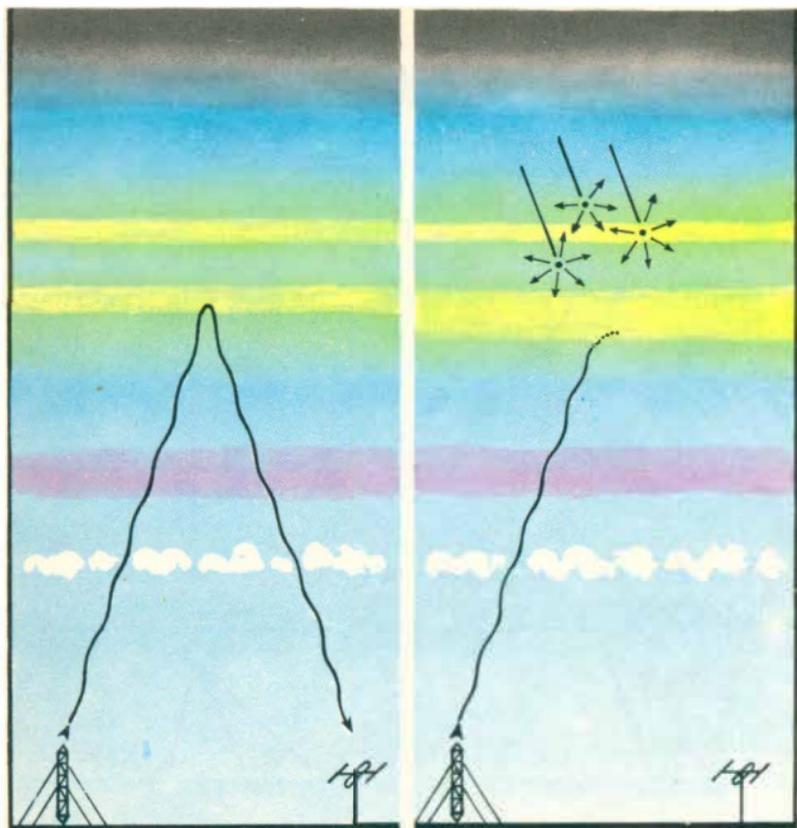
Die Absorptionseigenschaften der Erdatmosphäre verhindern, daß wir kürzerwellige elektromagnetische Strahlung beobachten und somit auch die bei einer Eruption freigesetzte Störstrahlung im fernen ultravioletten Spektralbereich und im Röntgengebiet direkt messen können. Dagegen ergeben sich indirekte Hinweise auf die extrem kurzwellige Störstrahlung durch die von ihr ausgelösten hochatmosphärischen Störungen. Die einfallende Störstrahlung wird in der Ionosphäre absorbiert und führt dort zu einer drastischen Erhöhung der Anzahl elektrisch geladener Teilchen (Ionen, Elektronen). Dabei werden auch tiefergelegene Schichten der Hochatmosphäre von der Ionisation betroffen. So ist zu verstehen, daß die Untergrenze der D-Schicht von durchschnittlich 75 km Höhe auf 60 km absinkt. Mit der Anzahl der elektrischen Ladungsträger erhöhen sich von einem bestimmten Wert an die Absorptionseigenschaften der Schicht für Radiowellen. Von diesem Effekt werden besonders die Radiowellen der Kurzwellsender betroffen, die für einige Stunden stark oder sogar völlig absorbiert werden. Als Folge davon ist nach Sonneneruptionen der Kurzwellenempfang entweder stark beeinträchtigt oder sogar ganz unterbrochen. Nach seinen Entdeckern wird diese Erscheinung Mögel-Dellinger-Effekt genannt. Die Abschwächung der Radiowellen wird auch bei der aus dem Weltall kommenden Radiostrahlung beobachtet, da sie in gleicher Weise in der gestörten Ionosphäre absorbiert wird.

Während die kurzwelligen Radiowellen durch erhöhte





Von einer starken Eruption auf der Sonne gehen vielfältige Wirkungen aus. Während die elektromagnetische Strahlung nach rund 8,3 Minuten die Erde erreicht und die ersten Störungen hervorruft, treffen die ausgeworfenen Teilchen je nach ihrer Geschwindigkeit Stunden später auf der Erde ein. Die Teilchen sind für die verzögert auftretenden Wirkungen verantwortlich.



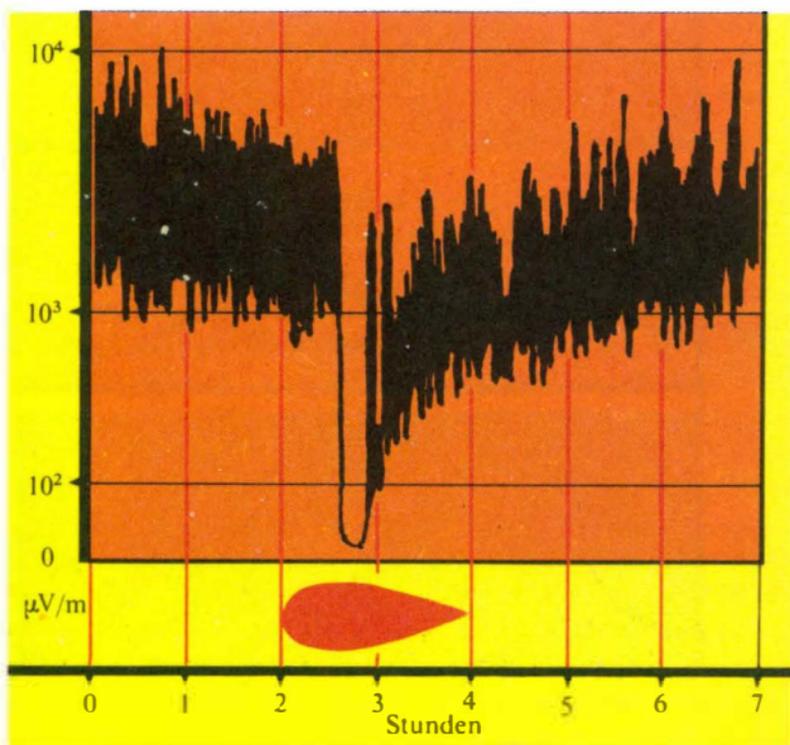
Normalerweise werden die Funksignale der Rundfunksender von den Ionosphärenschichten zur Erde zurückgeworfen, wodurch der Funkempfang über große Entfernungen erst möglich wird (links). Bei solaren Eruptionen kann sich die Ionosphäre sofort beim Eintreffen der sehr kurzwelligen Störstrahlung und auch später beim Eindringen hochenergetischer Elektronen in die Hochatmosphäre verstärken. Durch die zusätzliche Ionisation werden die Funkwellen in der entstehenden D-Schicht so stark geschwächt, daß kein Funksignal zur Erde zurückgeworfen wird (rechts).

Absorption in der Ionosphäre mehr oder weniger geschwächt bzw. völlig ausgelöscht werden, können gleichzeitig längerwellige Radiosignale verstärkt reflektiert werden. Dadurch ergeben sich sogenannte Überreichweiten für die betreffenden Sender. Während einer sehr starken Eruption im August 1972 konnten beispielsweise in einigen amerikanischen Bundesstaaten Taxifahrer die über

Sprechfunk an ihre Kollegen gerichteten Fahraufträge aus weit entfernten Städten empfangen.

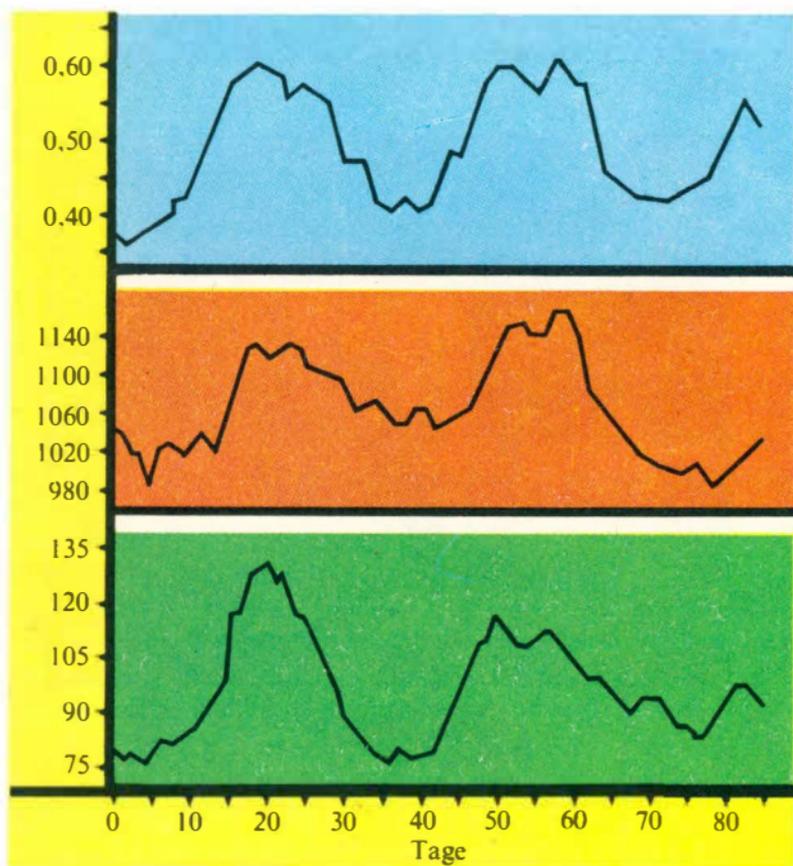
Auch auf dem Gebiet der Längswellen verstärken sich bei einer Eruption die Signale. Soweit sie natürlichen Ursprungs sind, stammen sie von Blitzentladungen bei Gewittern und werden als »atmospherics« bezeichnet. Steigt die Empfangsreichweite für Längswellen infolge einer Sonneneruption an, so wird die Gewittertätigkeit aus einem größeren Territorialbereich durch die Beobachtungen der atmospheric registriert.

Nach Eruptionen tritt durch die Verstärkung der D-Schicht in der Ionosphäre eine Verschlechterung des Kurzwellenempfanges ein (Mögel-Dellinger-Effekt). Wie die Registrierung der Feldstärke eines Kurzwellensenders (schwarze Kurve) zeigt, fällt die Feldstärke nach einer Eruption (roter Fleck) zeitweilig auf Null ab. Erst nach Stunden steigt die Feldstärke auf ihren Ausgangswert an, wenn die zusätzliche Ionisation in der D-Schicht wieder abgebaut ist.



Die Verstärkung der Ionisation in der D-Schicht, mit deren Auswirkungen wir uns gerade beschäftigt haben, ist logischerweise auf die Tagseite der Erde beschränkt, weil nur dort die elektromagnetische Störstrahlung von den

Wie die Messungen von Bord eines Erdsatelliten über 70 Tage hinweg zeigen, ist der Gang der von der Sonne kommenden kurzwelligigen Ultraviolettstrahlung (oben, Angaben in $\text{erg}/\text{cm}^2\text{s}$), der 10,7-cm-Radiostrahlung (unten, Angaben in $10^{-22}\text{W}/\text{m}^2\text{s}$) und der Temperatur der Atmosphäre in 200 km Höhe (Mitte, Angaben in K) weitgehend parallel. Das bedeutet, daß die Ionosphärentemperatur von der solaren Störstrahlung merklich beeinflusst wird. Die Beobachtungen erstrecken sich über einen Zeitraum von zwei Sonnenrotationen. Während dieser Zeit wurde zweimal das gleiche Aktivitätszentrum erfaßt, wie die gemessenen Maximalwerte im Abstand von rund 27 Tagen andeuten.



Eruptionsgebieten der Sonne einfällt. Außerdem stellt sich der normale physikalische Zustand in der gestörten Ionosphäre wieder ein, sobald die Intensität der kurzwelligen solaren Störstrahlung abgeklungen ist.

In diesem Zusammenhang ist es nützlich, sich den Vorgang der Ionisation zu vergegenwärtigen. Schon bei der normalerweise einfallenden ultravioletten Sonnenstrahlung – und verstärkt während der zeitweilig auftretenden Störstrahlung – werden durch Energieübertragung von den Atomen Elektronen abgetrennt. Begegnen sich im Verlauf der regellosen Bewegung die zum Teil ihrer Elektronen beraubten Atomkerne (Ionen) und die Elektronen zufällig, so können die freien Elektronen von den Ionen wieder eingefangen werden. Dadurch entstehen wieder nach außen elektrisch neutrale Atome. Beim Einfangen eines Elektrons durch ein Ion wird die bei der vorangegangenen Trennung (Ionisation) des Elektrons aufgewendete Energie in Form von Strahlung wieder abgegeben.

Weil durch die einfallende Strahlung ständig Atome ionisiert werden, die sich später wieder in neutrale Atome zurückverwandeln, sendet die Ionosphäre ununterbrochen ein schwaches Leuchten aus. Es ist jedoch für unsere Augen im allgemeinen nicht wahrnehmbar.

Wie langjährige Beobachtungsreihen ergaben, ist das ionosphärische »Eigenleuchten« – abgesehen von örtlichen und jahreszeitlichen Schwankungen – zur Zeit erhöhter Sonnenaktivität etwa doppelt so groß wie zur Zeit des Minimums.

Die leuchtende Schicht in der Hochatmosphäre wird zu einer auffälligen Erscheinung, wenn man von Bord eines Raumflugkörpers aus in Richtung auf den Erdhorizont fotografiert. Dann ist die Sichtlinie in der Ionosphärenschicht sehr lang, und ihr schwaches Leuchten pro Raumvolumen summiert sich zu einer merklichen Gesamtintensität.

Im Gefolge der durch einen flare ausgelösten physikalischen Zustandsänderungen der Ionosphäre wird auch ein Strom induziert, der seinerseits ein schwaches Magnetfeld aufbaut. Er überlagert sich mit dem vorhandenen Magnetfeld und bewirkt eine beobachtbare Magnetfeldänderung, die praktisch gleichzeitig mit der Eruption auftritt.

Aus den zuerst beobachtbaren Effekten im Verlauf einer Eruption läßt sich also vorhersagen, daß etwa ein bis drei Tage später sehr wahrscheinlich weitere mit dem Teilchenbeschuß einhergehende Störungen auf der Erde ausgelöst werden.

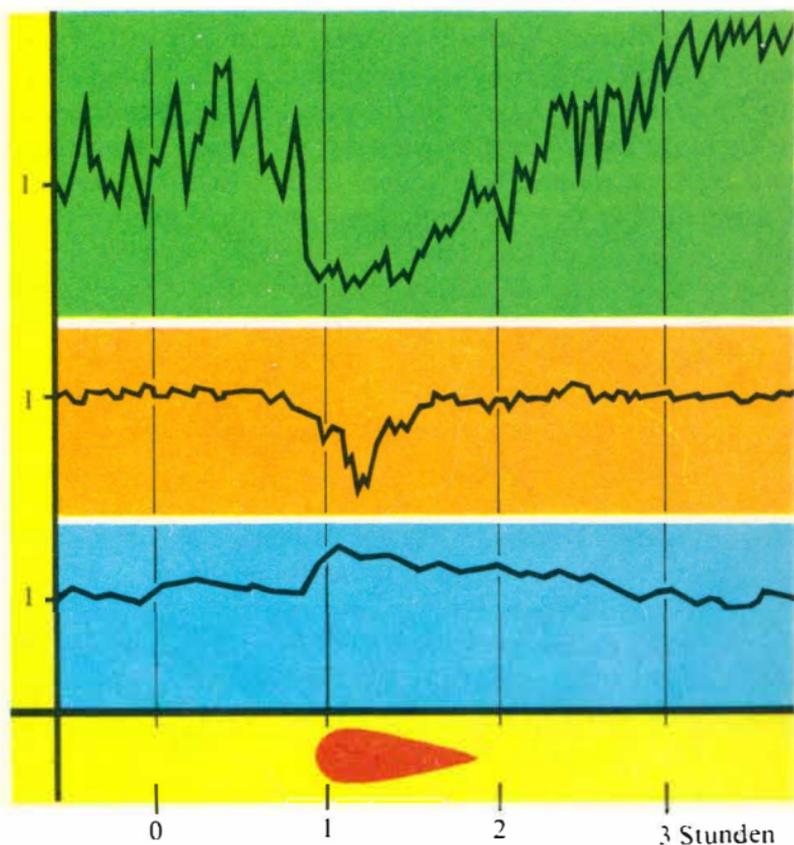
Teilchenwolken treffen die Erdatmosphäre

In dem von einer Protoneneruption ausgehenden Schwarm von Wasserstoffkernen gibt es sowohl schnelle als auch langsame Teilchen. Entsprechend dem mitgeführten Energiebetrag ist das Verhalten der Protonen im irdischen Magnetfeld und beim Eindringen in die Erdatmosphäre unterschiedlich. Die energiereichsten Protonen werden kaum vom irdischen Magnetfeld beeinflusst und können deshalb praktisch überall in die Atmosphäre gelangen. Dagegen werden die energieärmeren Protonen beträchtlich aus ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt. Die »Umleitung« dieser Teilchen in Richtung der erdmagnetischen Pole wird von den Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes erzwungen. Auf diese Weise werden die elektrisch geladenen Teilchen über die geographischen Nord- und Südpolgenden transportiert.

Betrachten wir zunächst einmal die Wirkung der energiereichen Protonen in der Hochatmosphäre. Sie rufen dort vielfältige atomphysikalische Umwandlungsprozesse hervor. Die von den schnellen Teilchen mitgeführte Energie wird bei ihrer Abbremsung in zwei Bestandteile, die »weiche« und die »harte« Sekundärstrahlung, umgesetzt. Bei der weichen Sekundärstrahlung geht die Energie in sehr kurzweilige Strahlungs»blitze« (Energiequanten, Energiepakete) über. Aus ihnen entstehen unmittelbar danach bestimmte Arten von Elementarteilchen wie Elektronen und Positronen. Diese wandeln sich wieder in neue Energiepakete um usw. Durch den in kürzester Zeit ablaufenden Vorgang entsteht aus einem einzigen energiereichen Wasserstoffkern – einem sogenannten Primärteilchen – ein ganzer Schauer von für unsere Augen unsichtbaren »Lichtblitzen« und energieärmeren Elementarteilchen. Allerdings sind nur ganz wenige dieser Schauer so

stark, daß wir ihre Wirkung auf die Erdoberfläche direkt nachweisen können. Anders verhält es sich mit der harten Sekundärstrahlung. Sie besteht aus den instabilen μ -Mesonen, die gleichfalls bei der Wechselwirkung der Primärteilchen mit den Atomen unserer Lufthülle entste-

Durch eine solare Eruption (roter Fleck) können verschiedene ionosphärische Störungen hervorgerufen werden. Der Kurzwellenempfang wird für Stunden durch eine Schwächung der Funkwellen in der reflektierenden Schicht praktisch unmöglich (obere Kurve). Die verstärkte Absorption der Radiowellen in der Ionosphäre läßt auch die Intensität der aus dem Weltall kommenden Radiostrahlung absinken (mittlere Kurve). Der Empfang von Längswellen auf der Erde wird dagegen verbessert, was sich in einer Zunahme der Intensität äußert (untere Kurve). Erst nach Stunden stellt sich der alte Zustand der Ionosphäre wieder ein.



hen. Die μ -Mesonen sind so energiereich, daß sie nicht nur ungehindert zur Erdoberfläche gelangen, sondern sogar ein Stück in die Erde eindringen können.

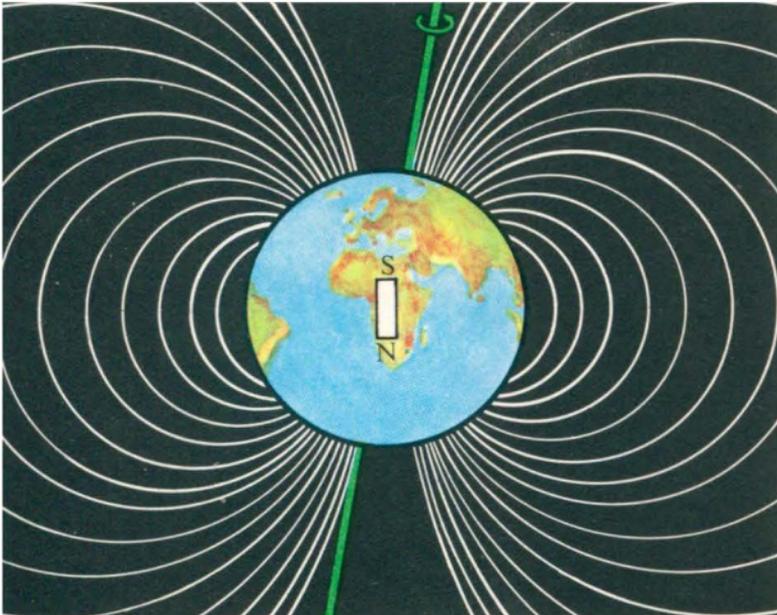
Die energieärmeren und dadurch vom irdischen Magnetfeld in die Polgegenden abgelenkten Wasserstoffkerne erhöhen zusätzlich die Anzahl der elektrischen Ladungsträger in der Ionosphäre. Dadurch wächst die Absorptionsfähigkeit der Ionosphäre für Radiowellen, und der Funkverkehr verschlechtert sich wie bei der einfallenden kurzwelligen elektromagnetischen Strahlung. Jedoch sind bei dem jetzt betrachteten Eindringen von Teilchen nur die Polgegenden betroffen. Vor allem wegen der geographisch günstigen Funkverbindung des europäischen Kontinents mit dem amerikanischen ist der Nachrichtenweg über die Nordpolgegend wichtig. Die Benutzer dieses Nachrichtenweges sind daher an einer frühzeitigen Warnung vor einem Ausfall stark interessiert, um rechtzeitig auf eine andere Verbindung umschalten zu können. Zu den Interessenten an diesem Warndienst werden in Zukunft sicher auch noch die Fluggesellschaften gehören, da die rentabelste Flughöhe der Überschallflugzeuge zwischen 20 und 30 km Höhe liegt. Fliegt man auf der kürzesten Verbindung zwischen dem amerikanischen und dem europäischen Kontinent über den Nordpol, dann sind nicht allein Funk-schwierigkeiten zu meistern, sondern es kann unter Umständen nach sehr starken Eruptionen zu einer erhöhten Strahlungsbelastung für Passagiere und Besatzungen kommen. Die Strahlung stammt von den energiereichen Protonen, die in den Polgegenden tief in die Atmosphäre eindringen und in dem angegebenen Flughöhenbereich Teilchenschauer und extrem kurzwellige Ultraviolettstrahlung hervorrufen. Um der potentiellen Gefährdung aus dem Wege zu gehen, wird man für die Tage nach starken Eruptionen die davon am meisten betroffenen Fluglinien über den Nordpol für den Flugverkehr sperren müssen. Das gleiche trifft natürlich auch für die Südpolgegend zu, die aber bisher nicht die wirtschaftliche Bedeutung des Nordpolgebietes besitzt.

Polarlichter – die Feuerwehr wird alarmiert

Bei der Entstehung von Polarlichtern spielt das Magnetfeld der Erde eine wesentliche Rolle. Es läßt sich recht gut mit dem Magnetfeld eines Stabmagneten vergleichen, der sich im Erdmittelpunkt befindet. Seine Achse spannt mit der Rotationsachse der Erde einen Winkel von rund $11,5^\circ$ Grad auf, der sich im Laufe der Zeit geringfügig ändert. Zwischen den beiden Magnetpolen erstrecken sich die Feldlinien. Ihr räumlich zu denkender Verlauf entspricht etwa dem bekannten Feldlinienbild eines Stabmagneten.

Bereits die ersten Meßreihen energiereicher Teilchen von Raumflugkörpern aus führten zu einer fundamentalen Entdeckung. Man fand, daß sich im Magnetfeld oberhalb der Erdatmosphäre elektrisch geladene Teilchen aufhalten,

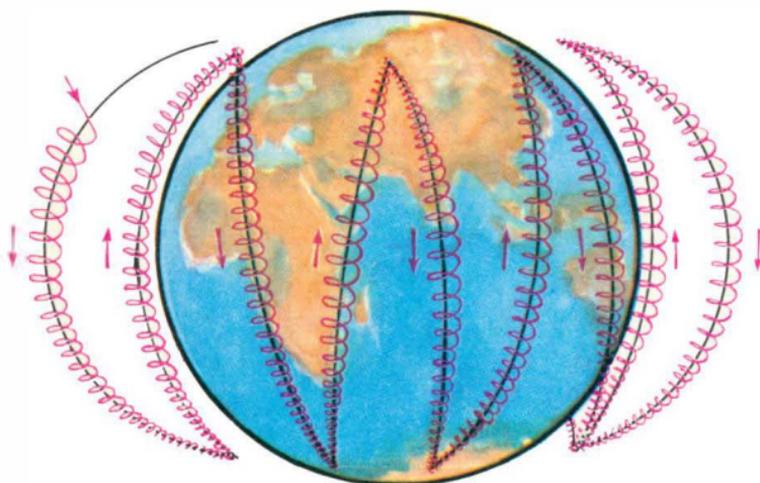
Ohne äußere Störungen würden die Feldlinien des irdischen Magnetfeldes wie bei einem Stabmagneten verlaufen. Seine Achse müßte allerdings um rund $11,5^\circ$ gegen die Rotationsachse der Erde (grün) geneigt werden, damit der beobachtete Feldlinienverlauf erklärt wird.

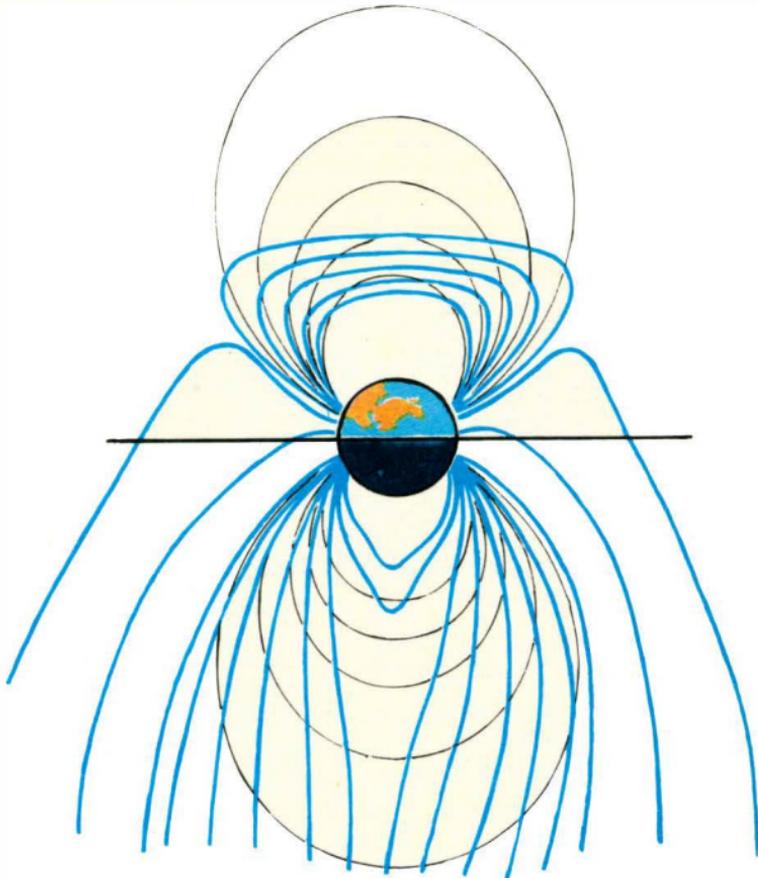
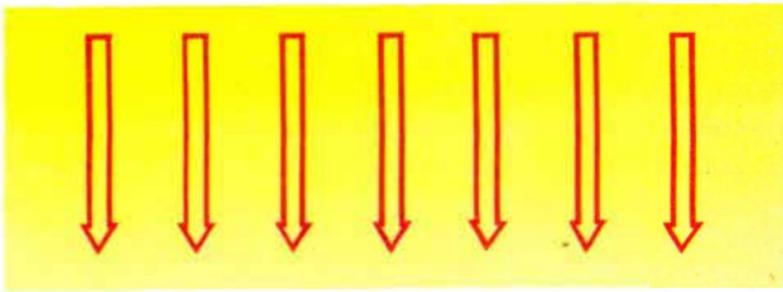


die in korkenzieherähnlichen Bahnen die magnetischen Kraftlinien umlaufen. In der Nähe der magnetischen Pole, wo die Kraftlinien räumlich zusammenrücken, d.h. die Stärke des Magnetfeldes anwächst, wird die Vorwärtsbewegung der Teilchen immer geringer. Dabei gelangen die Teilchen in ein Raumgebiet, in dem die Magnetfeldstärke auf einen so hohen Wert angestiegen ist, daß die Teilchen sogar zur Bewegungsumkehr gezwungen werden. Wenn sie auf dem Rückweg in die andere Polgend gelangen, geschieht dort das gleiche. Auf diese Weise laufen sie unter Umständen jahrelang zwischen den beiden Magnetpolen hin und her. Zusätzlich vollführen die Teilchen eine Driftbewegung, die sie um die Erde herumführt.

Die im Äquatorialschnitt nierenförmig aussehende Teil-

Wenn ein geladenes Teilchen von der Sonne her in die Magnetosphäre der Erde eindringt, wird es gezwungen, um die magnetischen Kraftlinien zu laufen. In Äquaturnähe ist der Durchmesser der Spiralbahn am größten (im Mittel einige hundert Kilometer), in höheren geomagnetischen Breiten am kleinsten (10 bis 100 Meter). Weil das Magnetfeld nicht homogen ist, ist die Bahnkrümmung unterschiedlich, und das Teilchen wird dadurch seitlich versetzt, es driftet. Die gedachten Führungslinien der Bewegung sind schwarz gezeichnet. Die Driftbewegung der positiv geladenen Protonen ist nach Osten gerichtet. Die entgegengesetzt geladenen Elektronen drifteten nach Westen. Alle Teilchen vollführen in den schalenförmigen Strahlungsgürteln diese Bewegungen.





Durch den Sonnenwind (rote Pfeile) wird das Magnetfeld der Erde (schwarz) stark deformiert (blaue Linien). Auf der der Sonne zugewandten Seite werden die Feldlinien an die Erde herangedrückt. Auf der Gegenseite werden die äußeren Feldlinien so stark verlängert, daß sie den sogenannten geomagnetischen Schweif bilden, der sich über mehrere hunderttausend Kilometer erstreckt.

chenwolke um unseren Planeten wird anschaulich als Strahlungsgürtel bezeichnet, der sich symmetrisch um den Erdäquator erstreckt. Im Strahlungsgürtel gibt es zwei Gebiete erhöhter Strahlungsintensität, die als äußerer und innerer Strahlungsgürtel bezeichnet werden; in ihnen sind verschiedene Elementarteilchen gespeichert. Im inneren Strahlungsgürtel sind vorwiegend Protonen anzutreffen, während sich im äußeren Strahlungsgürtel vor allem Elektronen aufhalten. Selbstverständlich sind die Übergänge fließend, und die Grenze zwischen den beiden Strahlungsgürteln verschiebt sich etwas, je nachdem bei welcher Energie die Teilchenenergien gemessen werden.

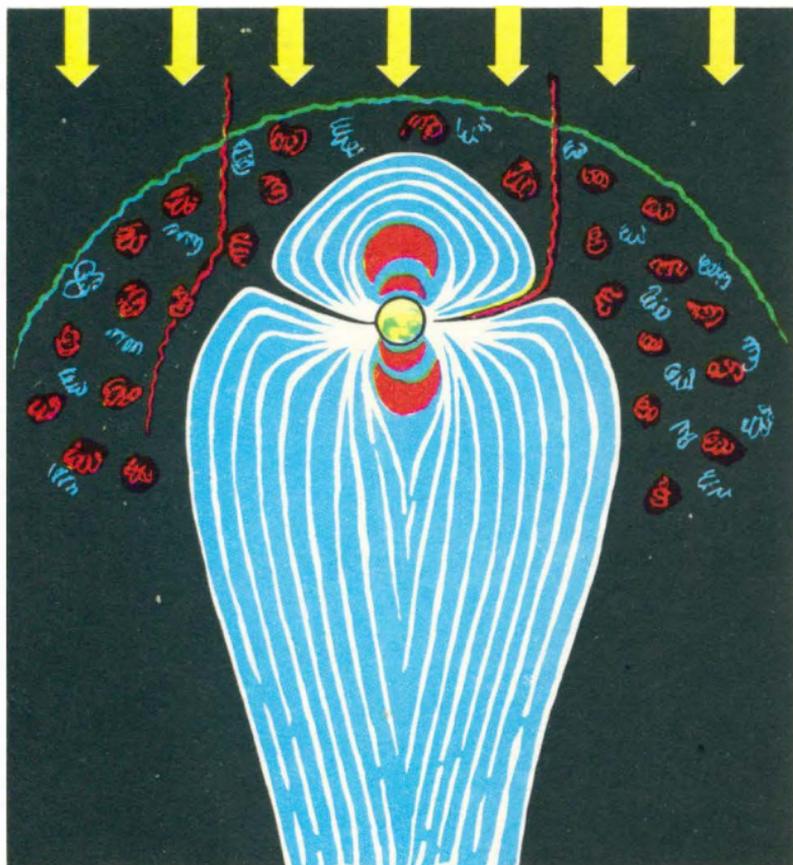
Die grundsätzlichen Unterschiede zwischen den Strahlungsgürteln und der tiefer liegenden Ionosphäre bestehen in der Dichte und den Geschwindigkeiten der elektrisch geladenen Teilchen. In den Strahlungsgürteln ist die Teilchendichte 100- bis 100 000mal kleiner als in der Ionosphäre, dafür ist aber die Geschwindigkeit der Teilchen sehr viel größer. Derartige hochenergetische Teilchen können Raumschiffbesatzungen, die sich längere Zeit in diesem Bereich aufhalten, gefährlich werden.

Das im ungestörten Fall kugelsymmetrische Magnetfeld der Erde wird durch den Sonnenwind stark deformiert. Es ist an der der Sonne zugewandten Seite merklich eingedrückt, in der entgegengesetzten Richtung aber deutlich verlängert, so daß es eine tropfenähnliche Form annimmt. Der Raum um die Erde, in dem ihr Magnetfeld die physikalischen Erscheinungen und Vorgänge bestimmt, wird als Magnetosphäre bezeichnet. In der Berührungszone zwischen ihr und dem interplanetaren Magnetfeld hat sich eine charakteristische Grenzschicht herausgebildet: Durch die magnethydrodynamischen Strömungsverhältnisse ist eine Art »Bugwelle« entstanden, hinter der magnetische Wirbel auftreten. Die Grenzschicht besitzt an ihrer der Sonne zugewandten Seite eine etwa kugelförmige Figur. Sie verliert sich jedoch, wenn man zu den von der Sonne abgelegenen Gebieten der Magnetosphäre übergeht. Die Strahlungsgürtel befinden sich im erdnahen Teil der Magnetosphäre, der verhältnismäßig gering gestört ist.

Was ereignet sich nun, wenn die im Verlauf einer Eruption ausgeschleuderten energieärmeren – also die verhält-

nismäßig langsamen – Teilchen auf die Magnetosphäre der Erde treffen? Durch die anlaufenden Teilchen wird die Grenzschicht der Magnetosphäre um mehrere Erdradien an die Erde herangeschoben und die Unterseite des inneren

Die Magnetosphäre der Erde ist derjenige Raumbereich, in dem das irdische Magnetfeld die Bewegungen geladener Teilchen kontrolliert. Der vom interplanetaren Magnetfeld geführte Teilchenstrom von der Sonne (gelbe Pfeile) bildet an der Magnetosphäre eine charakteristische Grenzschicht (grün) heraus. Hinter ihr stellen sich turbulente Strömungsverhältnisse ein. Die Grenzschicht der Magnetosphäre ist an der zur Sonne gewandten Seite etwa kugelförmig und verliert sich nach der abgewandten Seite. Insgesamt besitzt die Magnetosphäre eine tropfenförmige Gestalt. Die in die Magnetosphäre eindringenden geladenen Teilchen konzentrieren sich in den beiden nierenförmigen Strahlungsgürteln (rot).

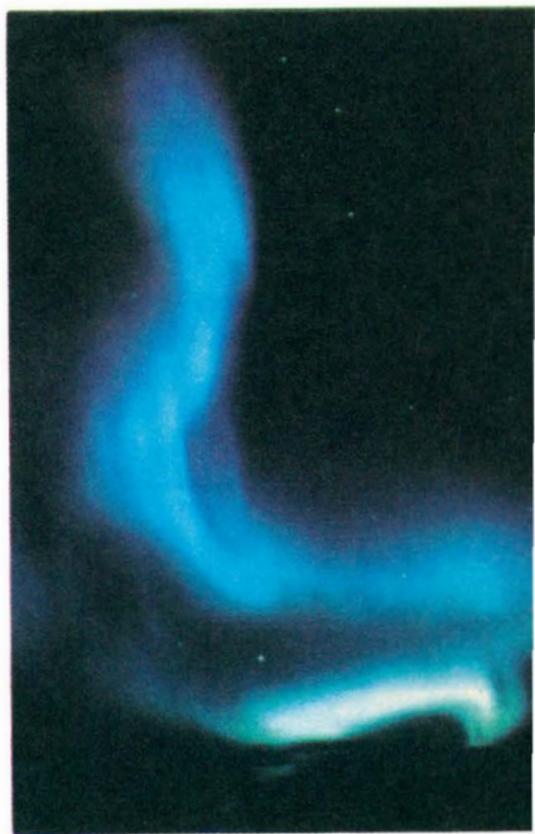


Strahlungsgürtels tiefer in die Hochatmosphäre hineingedrückt. Diese Störung des Magnetfeldes verrät sich auf der Erde durch Ausschläge der Magnetnadeln, eine magnetische Unruhe, die in starken Fällen zu einem »magnetischen Sturm« anwachsen kann. Durch die gestörte Magnetosphäre »sickern« die ankommenden Teilchen in sie ein und bewegen sich dort auf verschiedenen Bahnen. Es gibt Bewegungsrichtungen, die es den Teilchen ermöglichen, sofort tief in die Ionosphäre hinabzutauchen. Andere Bahnen bewirken, daß die Teilchen zunächst im äußeren Strahlungsgürtel gespeichert werden, d. h. in der bereits geschilderten Weise um die Erde driften.

Die Anreicherung des inneren Strahlungsgürtels mit Teilchen erfolgt sehr wahrscheinlich durch einen anderen Vorgang. Vergewenwärtigen wir uns dazu noch einmal die Wirkungen der hochenergetischen Protonen, die den langsameren vorausseilen. Diese Protonen lösen tiefer in der Erdatmosphäre Teilchenschauer – die sogenannte sekundäre kosmische Strahlung – aus. Ein Teil der dabei erzeugten Protonen bewegt sich auch nach außen, kann dadurch in den inneren Strahlungsgürtel gelangen und dort gespeichert werden.

Im Laufe der geschilderten Einfangprozesse erhöht sich die Teilchenzahl in den Strahlungsgürteln so weit, daß die »Speicherkapazität« der magnetischen Kraftlinien überschritten wird. Als Folge davon »regnen« bei einer geringfügigen Nachbeschleunigung die überschüssigen Teilchen über Tage hinweg aus den Strahlungsgürteln in die Ionosphäre hinab. »Niederschlagsgebiete« sind vor allem diejenigen Breitenzonen auf der Erde, in denen die magnetischen Kraftlinien steil die Ionosphäre durchsetzen. Das sind die sogenannten Polarlichtzonen, die sich zwischen 62° und 72° geomagnetischer Breite erstrecken.

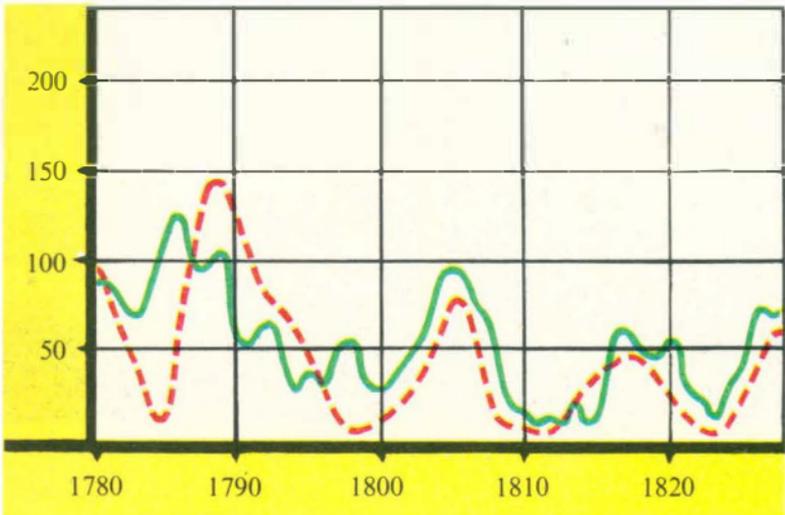
Mit den vorangegangenen Betrachtungen haben wir den verwickelten Weg der von den Eruptionsgebieten der Sonne stammenden Teilchen bis in die Ionosphäre verfolgt. Nun gilt es noch zu klären, wie es zu der Leuchterscheinung kommt, die wir als Polarlicht kennen. Bis auf die Anregung der Atome zum Leuchten entspricht der Vorgang demjenigen, der das schon geschilderte Eigenleuchten der Erdatmosphäre hervorbringt. Die schnell



Verschiedene Phasen eines Nordlichtes vom 6./7. Januar 1973 bei Enontekiö (Finnland). Die grün-gelbliche Farbe rührt vom Leuchten der Sauerstoffatome her.



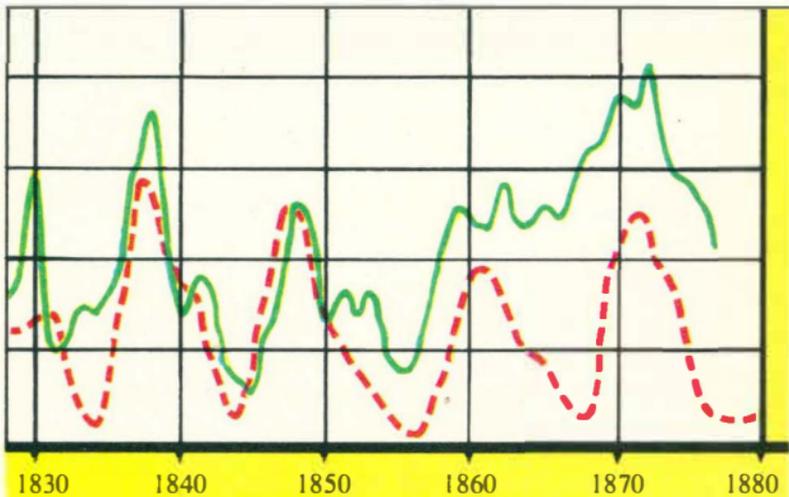
Die auf der Nordhalbkugel der Erde gezeichneten Kurven geben die geschätzten prozentualen Anzahlen der klaren, dunklen Nächte mit Nordlichtern an.



bewegten Elektronen, die den äußeren Strahlungsgürtel verlassen haben, schlagen beim Zusammenstoß mit den Sauerstoff- und Stickstoffatomen in der Ionosphäre Elektronen aus deren Elektronenhülle heraus. Nach einem kurzen »Eigenleben« vereinigen sich die Elektronen mit den Ionen wieder, und die dabei frei werdende Bewegungsenergie wird sofort in Strahlung umgesetzt. Da viele solcher Vereinigungsprozesse in der Zeiteinheit vor sich gehen, beobachten wir eine mehr oder weniger intensive Leuchterscheinung. Sie kann sich bei veränderlicher Helligkeit über Stunden erstrecken. Die vorherrschenden Farben sind hierbei rot oder weißlichgrün, weil ein Teil der Strahlung in schmalen Farbbereichen, den sogenannten Spektrallinien, abgegeben wird.

Wenn der Nachthimmel durch die ständig ihre Form verändernden roten Wolken und Streifen erhellt ist, erinnert das eindrucksvolle Schauspiel an einen fernen Brand.

Die jährliche Anzahl von Nordlichttagen in Norwegen (grüne Kurve) und die Sonnenfleckenrelativzahlen R (rote Kurve) verlaufen weitgehend parallel. Die Nordlichter verdanken ihre Entstehung Eruptionen auf der Sonne. Da die Anzahl der sich ereignenden Eruptionen im Verlauf des 11jährigen Sonnenfleckenzyklus schwankt, ist die gute Übereinstimmung beider Kurven verständlich.



Vor allem in den ländlichen Bezirken, in denen künstliche Lichtquellen nicht so stark stören, ist in unseren Breiten ein Nordlicht ein schönes Naturerlebnis. Leider können wir in Mitteleuropa kaum kräftige Polarlichterscheinungen beobachten. Wenn sie aber gelegentlich auftraten, dann wurde schon in Verkennung der wahren Ursachen die örtliche Feuerwehr wegen eines vermutlichen Brandes alarmiert. Ein klassisches Beispiel dieser Art ist uns aus dem Altertum überliefert. Danach muß während der Regierungszeit des römischen Kaisers Tiberius (42 v.u.Z bis 37 u.Z.) ein starkes Polarlicht sogar in Rom zu sehen gewesen sein. Im Glauben, daß in Ostia, dem damaligen römischen Hafen, ein Brand ausgebrochen sei, wurden Soldaten alarmiert und zu seiner Bekämpfung dorthin geschickt. Solche Irrtümer würden unseren skandinavischen Nachbarn kaum unterlaufen, denn in ihren Ländern gehören Polarlichterscheinungen fast zum Alltag.

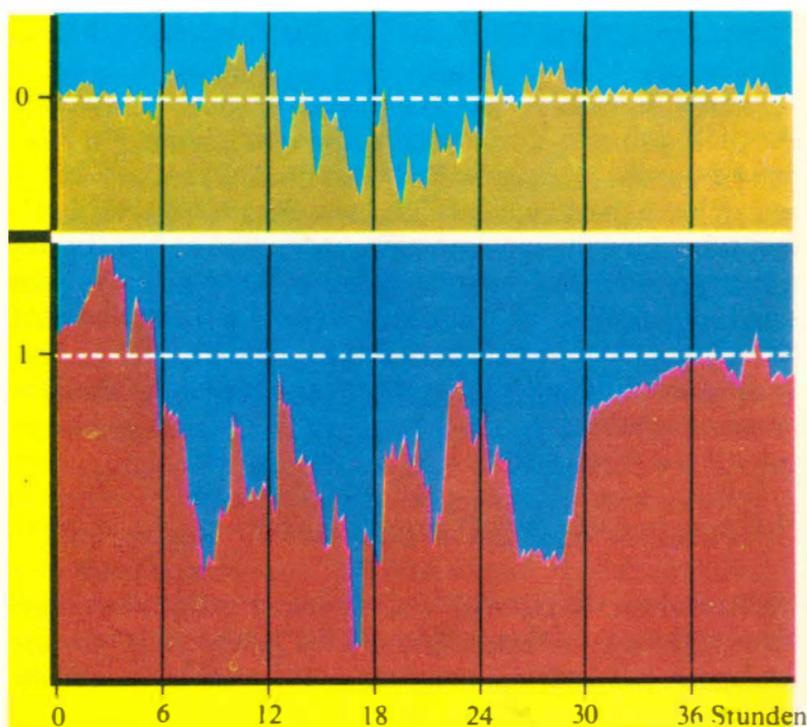
Die Zone auf der Nordhalbkugel der Erde, in der praktisch täglich mit Polarlichtern zu rechnen ist, verläuft näherungsweise über die Südspitze Islands, die Nordspitze der skandinavischen Halbinsel, Nowaja Semlja und entlang der gesamten Nordküste der Sowjetunion. Im Vergleich dazu ist in unserem Territorium die Polarlichthäufigkeit sehr klein. In den Nordbezirken unserer Republik kann man im Durchschnitt damit rechnen, daß in 3 % der Nächte Polarlichter auftreten. In den südlichen Bezirken sind es sogar nur 1 %. Berücksichtigt man noch, daß in vielen Nächten eine geschlossene Wolkendecke die Beobachtungen vereitelt, werden wir nur ganz selten Zeugen eines Polarlichtes sein können.

Auswirkungen der magnetischen Stürme

Die Registrierung der Stärke und der Richtung des erdmagnetischen Feldes gehört zur täglichen Routinearbeit zahlreicher geophysikalischer Observatorien. Dabei wird die Stärke des örtlichen Magnetfeldes in ausgewählten Richtungen (z. B. Horizontalintensität, Vertikalintensität, Nord- und Ostkomponenten) ermittelt. Über lange Zeiträume hinweg weisen die einzelnen Meßwerte nur gering-

füßige Veränderungen auf. In sie sind aber plötzliche Störungen eingelagert, die ihre Ursachen in den Sonneneruptionen haben. Charakteristisch für diese Störungen sind die irregulären Schwankungen des Magnetfeldes innerhalb von Minuten bis Stunden. Von einer bestimmten Stärke an werden die schnellen Schwankungen als »magnetische Stürme« bezeichnet. Ihre Entstehung verdanken sie Magnetfeldern, die durch elektrische Ströme in der Ionosphäre induziert werden. Die ionosphärischen Ströme entstehen durch die Bewegung der elektrisch leitenden Luft quer zu den Kraftlinien des magnetischen Hauptfeldes der Erde.

Während eines magnetischen Sturmes zeigen die an einer geomagnetischen Station gemessenen Komponenten des irdischen Magnetfeldes starke, unregelmäßige Schwankungen. Im oberen Teil der Abbildung sind die Abweichungen der Deklination (Winkel zwischen der Magnetnadel und der Nord-Süd-Richtung) aufgetragen. Die untere Kurve zeigt die Schwankungen der Feldstärke der Horizontalkomponente des Erdfeldes.



Durch die raschen Änderungen des Magnetfeldes im Verlauf eines magnetischen Sturmes werden zwangsläufig elektrische Spannungen und Ströme erzeugt, die sich auch am Erdboden bemerkbar machen. So wurde durch einen ausgeprägten magnetischen Sturm im Jahre 1938 in Mitteleuropa am Boden eine Spannung von 0,5 Volt/km induziert. Zwei Jahre später rief ein magnetischer Sturm in den USA eine Spannung von 5 Volt/km hervor. Da sich die Spannung zwischen den Endpunkten der elektrischen Leitungen summierte, ergaben sich Spannungsdifferenzen von Hunderten bis Tausenden von Volt. Als Folge davon brannten in den Fernsprech- und Telegraphenämtern die Sicherungen durch, und der Fernsprechverkehr kam zum Erliegen. Bei den sehr starken Eruptionen im August 1972 ließen sich die erwarteten Störungen in den elektrischen Überlandleitungen in geringen Grenzen halten. Zwar drangen die durch den magnetischen Sturm ausgelösten Oberflächenströme in das Netz der Überlandleitungen und Umspannwerke des nordöstlichen Teils der USA und in Kanada ein, sie konnten aber wie auch die Spannungsschwankungen durch koordiniert arbeitende Schutzvorrichtungen gesteuert und damit unter Kontrolle gehalten werden.

An den Beispielen aus der Energieversorgung wird ersichtlich, daß eine Vorhersage von starken Sonneneruptionen eine große praktische Bedeutung hat. Daher beschäftigen sich schon seit einiger Zeit spezielle wissenschaftliche Institutionen mit der rechtzeitigen Warnung vor Protoneurruptionen. Die Hauptabnehmer für die Warnungen sind vornehmlich Organisations- und Leitzentralen von bemannten Weltraumunternehmen, medizinische Forschungsinstitute, Elektroenergiezentralen und Nachrichtengesellschaften.

Störungen im Wettergeschehen

Bisher haben wir nur die Auswirkungen von starken Sonneneruptionen auf den geophysikalischen Bereich betrachtet. Dabei konnten wir feststellen, daß sowohl die extrem kurzweilige Störstrahlung als auch die bei der Eruption

ausgestoßenen Teilchen schon in den oberen Stockwerken der Atmosphäre mit ihr in eine vielfältige Wechselwirkung treten und daran gehindert werden, tiefer einzudringen. Eine Ausnahme stellt nur die dabei entstehende kosmische Sekundärstrahlung dar, die bis zum Grunde der Lufthülle vordringen kann. Wenn also eine solare Wetterbeeinflussung wirksam sein soll, dann muß die Störung der Hochatmosphäre in die Troposphäre, in der sich ja das Wettergeschehen abspielt, übertragen werden. Über diesen Vorgang existieren gegenwärtig nur Vermutungen.

Gewitterhäufigkeit

Bereits im vorigen Jahrhundert stellte man bestimmte Parallelitäten zwischen Gewitterhäufigkeit und Sonnenaktivität fest. Dieses Ergebnis wurde aber nicht widerspruchslos hingenommen, da der Beobachtungszeitraum als zu kurz erschien. Eine erneute Untersuchung in den dreißiger Jahren wies tatsächlich einen Zusammenhang zwischen der Gewitterhäufigkeit und der Sonnenaktivität nach: Zu Zeiten erhöhter Sonnenaktivität ist die Anzahl der Gewitter größer als zur Zeit minimaler Sonnenaktivität. In zwei weiteren Beobachtungsreihen konnten kürzlich die älteren Beobachtungsergebnisse bestätigt werden.

Wie die Untersuchungen weiter ergaben, sind die Wechselbeziehungen zwischen der Sonnenaktivität und der Gewitterhäufigkeit wahrscheinlich noch komplizierter. Die Analyse der Meßwerte weist nämlich auf eine zusätzliche Beziehung der luftelektrischen und meteorologischen Kennzahlen zum Mondumlauf hin.

Natürlich wurde versucht, aus den angedeuteten Zusammenhängen zwischen den Aktivitätserscheinungen auf der Sonne, den sich ändernden Konstellationen von Sonne, Erde und Mond und den Vorgängen in der Troposphäre ein Modell von den Wechselbeziehungen zu entwerfen. Dabei war die Tatsache zu berücksichtigen, daß die höchsten Niederschlagswerte etwa zwei Tage nach Vollmond gemessen werden. Das spricht dafür, daß an dem Mechanismus der Wechselwirkung auch das interplanetare Magnetfeld beteiligt ist. Seine Kraftlinien schneiden die Erdbahn

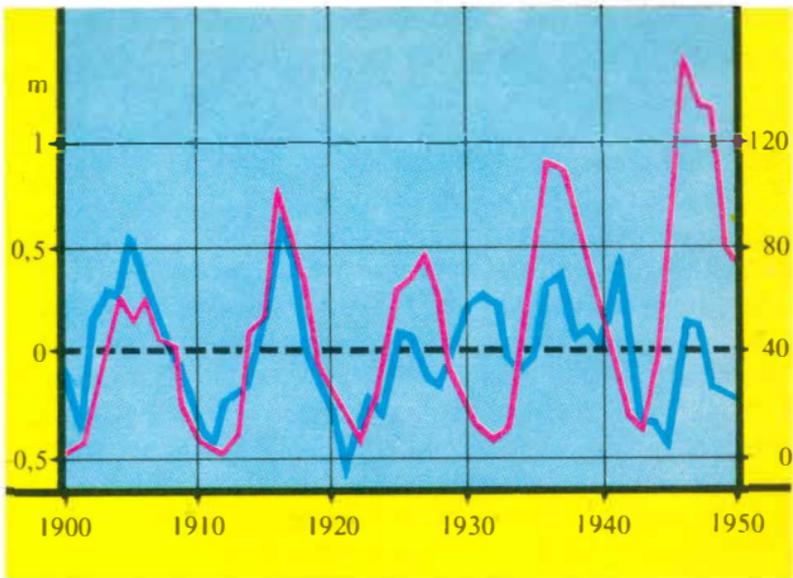
unter einem Winkel von 45° . Die gleiche Richtung hat unter dem Einfluß des Sonnenwindes das irdische Magnetfeld eingenommen. Seine Ausläufer reichen auf der von der Sonne abgewandten Seite über die Mondbahn hinaus. Steht nun der Mond ungefähr in Richtung der interplanetaren Magnetlinien, dann ist eine Beeinflussung des Sonnenwindes und der in ihm eingelagerten Störungen nicht ausgeschlossen.

Noch nicht erwiesen ist auch eine andere Überlegung, wonach Gewittertätigkeit und Lufterktrizität durch einfallende Atomkerne bzw. interplanetare Staubteilchen beeinflußt werden. Es ist denkbar, daß die bei Störungen in die Hochatmosphäre eindringenden Teilchen direkt oder indirekt die Anzahl der Kondensationskeime in der mittleren Troposphäre erhöhen. Kondensationskeime sind mikroskopisch kleine Festkörper, die aufgrund bestimmter Oberflächeneigenschaften Wasserdampf anlagern können und damit die Bildung von Wassertröpfchen oder Eisteilchen ermöglichen. Diese Eigenschaft wird ganz bewußt beim »Impfen« von Wolken ausgenutzt, um sie künstlich zum Abregnen zu bewegen. Das Wachstum der Wassertröpfchen endet mit dem Ausfallen aus der Wolke als Niederschlag. Nach langjährigen Messungen, die in Australien durchgeführt wurden, ist die Konzentration der Kondensationskeime mit dem Gang der Sonnenaktivität gekoppelt.

Unterschiedliche Niederschlagsmengen

Die Frage nach einer Steuerung der Niederschläge durch Sonneneinflüsse verdient in zweierlei Hinsicht Aufmerksamkeit. Einmal wäre eine langfristige, d. h. mit dem 11jährigen Sonnenfleckenzyklus korrespondierende Abhängigkeit denkbar, andererseits könnten auch Änderungen der Niederschlagsbeträge im Gefolge einzelner starker Eruptionen auftreten. Die Untersuchungsergebnisse waren bisher insofern enttäuschend, als sie keinen gesicherten Beweis für den vermuteten Gang der Niederschläge mit der Sonnenaktivität erbrachten.

Ein instruktives Beispiel dafür, wie leicht man bei der



Die Schwankungen des Wasserspiegels des Victoriasees (blaue Kurve, linke Skala) zeigen von 1900 bis 1925 einen auffälligen Gleichlauf mit den Sonnenfleckenrelativzahlen R (rote Kurve, rechte Skala). Danach besteht keine Übereinstimmung beider Kurven mehr. Wie die jüngeren Beobachtungen ergaben, liegt eine solare Steuerung der Niederschlagsmenge in einem Teil von Ostafrika offensichtlich nicht vor.

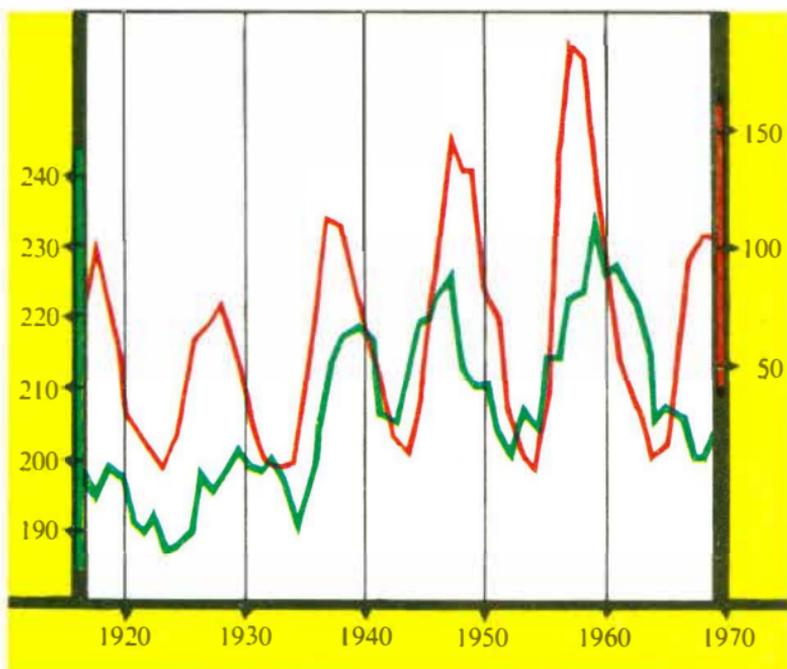
Suche nach Korrelationen zwischen meteorologischen Elementen und solaren Vorgängen Täuschungen erliegen kann, sind die Wasserstandsänderungen im Victoriasee (Ostafrika), der jahrelang als Paradeferd eines solchen Zusammenhangs galt. Weil dieser See Sammelbecken der Niederschläge eines recht großen Areals in Ostafrika ist, darf sein wechselnder Wasserstand als Maß für die dort fallende Regenmenge angesehen werden. Tatsächlich änderte sich der Pegelstand einige Jahre parallel zum Gang der Sonnenaktivität. Während des Fleckenmaximums war die Wassertiefe um 1 m größer als zur Zeit des Fleckenminimums. Der Freude über den festgestellten Zusammenhang folgte die Ernüchterung, als sich die systematischen Pegelstandsänderungen nach zwei Sonnenfleckenzyklen von 1925 an nicht fortsetzten, sondern bis in die Gegenwart völlig irregulär verliefen. Nach diesem Sachverhalt zu

urteilen, hat hier der Zufall über zwei Jahrzehnte eine solarerrestrische Beziehung vorgespiegelt.

Schwankt die Lufttemperatur?

Temperaturmessungen gehören zu den Routinearbeiten meteorologischer Stationen und werden schon seit langer Zeit durchgeführt. Für den Nachweis, daß solare Störungen den Temperaturverlauf beeinflussen, erhalten solche Meßreihen besonderes Gewicht, die an Orten mit einem regelmäßigen Wetterablauf gewonnen wurden. Dort erscheint es am ehesten möglich, die geringen solaren Effekte von den wetterbedingten Temperaturschwankungen zu trennen. Die Untersuchungsergebnisse waren jedoch negativ, denn die von Wettereinflüssen befreiten Temperaturschwankungen an den betreffenden Beobachtungsorten blieben praktisch an der Nachweisbarkeitsgrenze (einige Zehntel Grad) und ließen keinen Zusammenhang mit der Sonnenaktivität erkennen. Eine Meßreihe aus dem schottischen Ort Eskdalemuir ergab dagegen eine Korrelation zwischen den Sonnenfleckenzahlen und der Länge der jährlichen »Wachstumszeit«. Unter der jährlichen Wachstumszeit wird die Anzahl von Tagen verstanden, an denen die Mitteltemperatur in 1,5 m Höhe über dem Boden den Wert von $+5,6^{\circ}$ Celsius übersteigt. In der Zeit der maximalen Sonnenfleckenzahlen ist die Wachstumszeit etwa 25 Tage länger als in den Jahren mit minimalen Fleckenzahlen.

Auch die Auswertung von Temperaturverläufen in größeren Zeiträumen und einem ausgedehnteren Territorialbereich führte zu einem positiven Ergebnis. Wie sich herausstellte, waren in dem betrachteten Zeitraum von 1851 bis 1960 in 90 % aller Fälle die Hochwinter in Mitteleuropa zu mild, wenn in den vorangegangenen Herbstmonaten die Sonnenaktivität zugenommen hatte. Der Sachverhalt erlaubt aber nicht, einen kalten Hochwinter vorauszusagen, wenn in dem vorangegangenen Herbst die Sonnenfleckenzahl zurückgegangen war. Offensichtlich sind am Zustandekommen kalter mitteleuropäischer Winter noch andere meteorologische Faktoren beteiligt.



Die geglättete Anzahl der jährlichen Wachstumstage (grüne Kurve), d. h. der Tage mit einer durchschnittlichen Temperatur über $+5,6^{\circ}\text{C}$, in dem schottischen Ort Eskdalemuir variiert mit dem Zyklus der Sonnenaktivität. Sie ist durch die Angabe der Sonnenfleckenzahlen (rote Kurve) charakterisiert. Die größten Anzahlen der Wachstumstage werden etwa ein Jahr nach dem Durchlaufen des Sonnenfleckensmaximums beobachtet.

Mehrtägige Luftdruckveränderungen

Die Auswertung von Luftdruckschwankungen, die an zwei meteorologischen Stationen in Südostnorwegen registriert wurden, ergab, daß unmittelbar nach solaren Eruptionen eine Druckveränderung auftrat. Dabei erniedrigte sich der Luftdruck im Sommer um einen geringen Betrag. Umgekehrt erhöhte sich im Winter bei einer Eruption der Druck. Nach statistischen Berechnungen beträgt die Wahrscheinlichkeit nur 1 %, daß bei den beobachteten Druckveränderungen der Zufall im Spiele ist.

In einer anderen Untersuchung wurden die Luftdruckwerte mehrerer europäischer Stationen in Beziehung zu

erdmagnetischen Störungen gesetzt. Hierbei mußte im Laufe der Untersuchung das Beobachtungsmaterial weitgehend nach Jahreszeit und Sonnenaktivität aufgeschlüsselt werden. Erst diese Aufgliederung ermöglichte es, einen schwachen solaren Einfluß aufzuspüren. Danach besteht zwischen erdmagnetischen Störungen und dem Luftdruck nur in den Jahren schwacher Sonnenaktivität und lediglich in den Wintermonaten eine Beziehung.

In den Zeiten, in denen der Effekt wirksam ist, fällt bis zum dritten oder vierten Tag nach der erdmagnetischen Störung der Luftdruck, um anschließend bis zum siebenten Tag nach der Störung wieder auf seinen Normalwert anzusteigen. Die Druckänderung liegt im Mittel bei 3 bis 4 Millibar. Verglichen mit den witterungsbedingten Druckschwankungen und erst recht mit dem Gesamtdruck der Atmosphäre von rund 1013 Millibar ist der Änderungsbeitrag recht gering. Nach den vorliegenden Messungen ist der Druckanstieg in einigen Kilometern Höhe nicht mehr nachzuweisen.

Für die von der Sonne gesteuerten schwachen Luftdruckschwankungen sind wahrscheinlich zwei verschiedene Einflüsse verantwortlich: Eine sofort mit der Eruption auftretende Wirkung der elektromagnetischen Strahlung und eine Störung, die erst mit einer Verzögerung von 2 bis 4 Tagen einsetzt. Die verspätet auftretenden Luftdruckänderungen könnten mittelbar von in die Hochatmosphäre eindringenden Teilchen hervorgebracht werden. Verwickelter erscheinen die Einflüsse noch dadurch, daß die Wirkung der Einzelereignisse auf der Sonne wahrscheinlich von der gerade herrschenden Stärke der Sonnenaktivität im 11jährigen Zyklus zusätzlich moduliert wird.

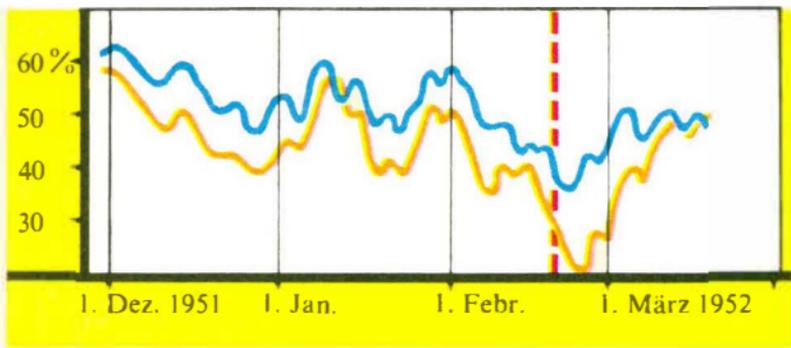
Wetterlage und Großwetter

Wenden wir uns nun der Frage zu, ob auch das Wetter von solaren Einflüssen abhängig ist. Unter dem Begriff »Wetterlage« oder gemeinhin »Wetter« versteht man den physikalischen Zustand der Atmosphäre und die sich in ihr vollziehenden meteorologischen Vorgänge in einem auf

einige Stunden begrenzten Zeitintervall über einem bestimmten Gebiet, das im Republikmaßstab einige benachbarte Bezirke umfaßt. Eine Wetterlage läßt sich z. B. durch das Druckfeld am Erdboden charakterisieren, das in direkter Beziehung zum Strömungsfeld – dem Wind – steht. Windstärke, -richtung und Luftdruck sind wesentliche Elemente des Wetters.

Ein der Wetterlage übergeordneter Begriff ist die »Großwetterlage«. Sie stellt die räumliche Zusammenfassung und die zeitliche Abfolge aller derjenigen Einzelwetterlagen dar, die miteinander in einem physikalischen Zusammenhang stehen. Die verschiedenen Großwetterlagen unterscheiden sich vor allem durch typische Strömungsanordnungen in der Höhe. Innerhalb einer Großwetterlage – die z. B. das Gebiet ganz Europas einschließlich des Nordatlantiks umfassen kann – kommen unter Umständen unterschiedliche Wetterlagen nebeneinander vor.

Für die Charakterisierung einer Großwetterlage eignet sich vor allem die Angabe der vom Erdboden weniger beeinflussten Druckverteilung in der Höhe, denn jede Großwetterlage hat dort ein ihr eigentümliches Druckfeld. Als besonders geeignet wird dafür die Verteilung des Luftdrucks in etwa 5 km Höhe (500-Millibar-Fläche) angesehen. In ihr kann die Strömungsrichtung über Tage oder sogar Wochen erhalten bleiben. Durch die turbulenten Luftbewegungen können Störungen entstehen, die als wandernde Hoch- oder Tiefdruckgebiete über ein begrenztes Territorium hinwegziehen, dessen Wetterlage sich deshalb ständig ändert, während die Großwetterlage bei diesem Vorgang durchaus gleich geblieben ist. Interessant ist, daß die Atmosphäre in gewissen Jahreszeiten nur ganz bestimmte Großwetterlagen ausbildet, die dann über Monate hinweg bestehen bleiben. Dafür wurde die Bezeichnung »Großwetterperiode« vorgeschlagen. Die Erhaltungseignung gewisser Großwetterlagen wird bei der Aufstellung von langfristigen – über 5 Tage hinausgehenden – Wettervorhersagen natürlich mit verarbeitet. Trotzdem weichen die Prognosen teilweise erheblich vom tatsächlichen Wettergeschehen ab. Ein Grund für die Fehlerquote der mittel- und langfristigen Voraussagen liegt darin, daß das Ende einer Großwetterperiode und damit auch die



Die Qualität von Wettervorhersagen läßt sich durch ein Gütemaß charakterisieren, das prozentual ihre Richtigkeit angibt. In dem Diagramm sind zu Vergleichszwecken die Gütemaße von Wetterdienststellen aus zwei Ländern angegeben. Beide Kurven zeigen einen weitgehend ähnlichen Verlauf. Ende Februar 1952 ereignete sich eine starke solare Eruption (senkrechte rote Linie), nach der die Qualität der Vorhersagen auffällig zurückging. Vermutlich beeinflusste die solare Störung die Wetterentwicklung, was sich indirekt durch die schlechten Prognosen verrät.

Umstellung auf eine andere Großwetterlage noch nicht exakt bestimmt werden kann.

Ein interessanter Hinweis auf kurzzeitige Wetterbeeinflussung durch die Sonnenaktivität ergab sich bei einem Vergleich der Wetterdienstvorhersagen zweier Länder. Die quantitative Zahlenangabe über Abweichungen des eingetretenen vom vorhergesagten Wetterablauf zeigte über vier Monate hinweg einen beachtlichen Gleichlauf, der auffallenderweise auch dann erhalten blieb, wenn die Voraussagen sehr stark vom tatsächlichen Wetter abwichen. Das Versagen der Prognosen könnte nun daran liegen, daß die voraussagenden Meteorologen einen »schwierigen Fall« vor sich hatten, der mit den vorhandenen Kenntnissen nicht zu lösen war. Andererseits ist es denkbar, daß die Wetterentwicklung aufgrund der Großwetterlage durchaus richtig eingeschätzt wurde, der zu erwartende Wetterablauf sich aber anormal verhielt und abbrach. In unserem Beispiel scheint das letztere der Fall gewesen zu sein. Als man den Ursachen für das Versagen der Prognose nachging, stellte sich heraus, daß immer dann

die Zuverlässigkeit der Voraussage zurückging, wenn sich kurz vorher auf der Sonne mittlere bis stärkere Eruptionen ereignet hatten. Danach zu urteilen werden also bestimmte Großwetterlagen durch solare Einflüsse beendet.

Durch umfangreiches Beobachtungsmaterial sicherer belegt als das vorangegangene Beispiel ist die Tendenz einer langfristigen Wetterbeeinflussung im Verlaufe des 11jährigen Sonnenfleckenzyklus. Anzeichen dafür wurden bereits im Zusammenhang mit der Regel genannt, wonach die Winter in Europa in 90 % aller Fälle zu mild sind, wenn in den vorangehenden Herbstmonaten die Sonnenfleckenrelativzahl im Ansteigen begriffen ist. Dieser Sachverhalt soll nun etwas umfassender aus dem Blickwinkel der Großwetterlagen betrachtet werden.

Die synoptische (zusammenfassende) Betrachtung der Luftdruckwerte eines großräumigen Netzes von Beobachtungsstationen ergab in den Wintermonaten, denen ein Anstieg der Fleckenrelativzahl vorangegangen war, ein vergrößertes Druckgefälle zwischen dem Subtropenhoch und den subpolaren Breiten. Dabei war zwischen 30° und 40° Nord der Druck übernormal und im Gürtel von 55° bis 70° unternormal. Als Deutungsmöglichkeit dafür kommen Schwankungen der Ultraviolettstrahlung der Sonne in Betracht. Die erhöhte Strahlungsintensität im fernen Ultraviolett während der Phasen stärkerer Sonnenaktivität kann vor allem in den äquatornahen Zonen die Ozonschicht in 40 bis 50 km Höhe erwärmen. Wenn sich die aufgenommene Energie anschließend auf die tiefergelegenen Schichten überträgt, könnte sich die Erwärmung bis zum Boden fortsetzen. Durch sie wird die großräumige Luftzirkulation, die sogenannte planetarische Zirkulation, verstärkt, die ihrerseits dazu beiträgt, die subtropischen Hochdruckgebiete polwärts zu verschieben.

Umgekehrt ist es aber nicht möglich, aus einer abnehmenden Tendenz der Sonnenfleckenrelativzahlen in den Sommer- und Herbstmonaten auf einen übernormal kalten Winter des gleichen Jahres zu schließen. Die Verteilung des Luftdrucks von den äquatornahen Breiten bis in die Nähe des Nordpols weist zwar einige charakteristische Eigenschaften auf, die aber für einen extrem kalten Winter nicht allein maßgeblich sein können. In den Jahren mit

abnehmenden Fleckenrelativzahlen nimmt ab September von den Tropen her der Luftdruck nordwärts bis zum Roßbreitenhoch in ungefähr 30° Breite ab. Dieser Vorgang kommt im Januar zum Stillstand, ehe sich bis zum Frühjahr von Nord nach Süd fortschreitend die Druckwerte wieder normalisieren. Zeitlich gleichlaufend steigt dagegen ab etwa 55° Nord am Boden der Luftdruck im Herbst an und erreicht im Januar im Polargebiet seinen höchsten Wert. Die Abweichung vom Normalwert (d.h. bei mittleren Sonnenfleckenrelativzahlen) beträgt wenige Millibar. In den nachfolgenden Monaten baut sich der übernormale Druck wieder ab. Mit der Entstehung eines ausgedehnten Hochdruckgebietes über der Polgend ist zwar eine wesentliche Voraussetzung für einen kalten Winter erfüllt; trotzdem tritt nicht in jedem Fall ein kalter Winter auf. Betrachten wir nun das meteorologische Geschehen im großräumigen Maßstab weiter. Mit dem Aufbau ausgedehnter, meist zellulärer und durch zyklonale »Höhentröge« unterbrochener Hochdruckgebiete in nördlichen Breiten ist ein Luftmassentransport zwischen den äquatorialen und den polaren Gebieten verknüpft. Als Folge davon tritt zu der in unseren Breiten vorherrschenden West-Ost-Luftströmung (Großwetterlage) eine zusätzliche Süd-Nord- bzw. Nord-Süd-Luftströmung auf. Durch sie schwächt sich als Folge der Überlagerung die westöstliche Strömung vom Herbst an bis zum Anfang des Winters ab. Erst vom Januar verstärkt sich die breitenkreisparallele Strömung wieder, während die Nord-Süd-Strömung nun ständig zurückgeht. Durch den wachsenden Einfluß der Nord-Süd-Strömung am Ende des Herbstes und zu Beginn des Winters bilden sich ausgeprägte Hoch- und Tiefdruckgebiete, deren Achse nord-südwärts gerichtet ist und die meist nur eine geringe West-Ost-Verlagerung aufweisen. Das Wettergeschehen eines bestimmten Gebietes hängt jetzt weitgehend davon ab, welche Lage das Vorhersagegebiet in dem betreffenden Zeitraum zu den recht beständigen Hoch- und Tiefdrucktrögen hat, die vor allem in den mittleren Höhenlagen der Troposphäre deutlich ausgebildet sind. Man muß sich aber vergegenwärtigen, daß die hier sehr vereinfacht dargestellten Verhältnisse eigentlich nur global betrachtet werden dürfen. Was hier für ein bestimm-

tes Vorhersagegebiet verallgemeinert wurde, ist die Auswirkung einer Zirkulationsumstellung, die mindestens die ganze Nordhalbkugel umfaßt. Wir können viel bestimmter sagen, daß die Nordhalbkugel in irgendeinem Winter im Mittel zu kalt oder zu warm ist, als diese Aussage beispielsweise für das Territorium der DDR oder gar für bestimmte Orte zu präzisieren. Je nach der Lage zum Hoch oder zum Tief wird Warm- oder Kaltluft aus niederen oder hohen Breiten herangeführt, bestimmen die energiezehrende nächtliche Ausstrahlung über schneebedeckten Flächen oder vor Ausstrahlung schützende Wolkendecken das individuelle Wetter am jeweiligen Standort, das damit von der globalen Tendenz ganz wesentlich abweichen kann. Langfristige Prognosen sind also illusorisch, nur die Zirkulationsform läßt sich mit solaren Erscheinungsformen in Verbindung bringen. Damit sind aber noch keine eindeutigen Vorhersagen über die Temperaturverhältnisse eines Winters möglich. Ihre Kenntnis wäre aber für Wirtschaft, Verkehr und Energieversorgung von größtem Interesse.

Vom Standpunkt der letzten Betrachtungen aus darf man die allgemeine Zirkulation der Erdatmosphäre als denjenigen Vorgang ansehen, der für die Witterungsabfolge über bestimmten Gebieten der Erde verantwortlich ist. Die Zirkulation wird sowohl von der eingestrahlten Sonnenenergie mit den überlagerten Störungen als auch von der jahreszeitlich bedingten Energieabstrahlung der Erdoberfläche in den Weltraum beeinflusst. Doch bisher ist die verwirrende Vielfalt im einzelnen noch nicht geklärt.

Zurückhaltend läßt sich aussagen, daß Erscheinungen der Sonnenaktivität zumindest zeitweilig auf unser Wettergeschehen einen merklichen Einfluß ausüben. Allerdings äußert er sich mehr über die atmosphärische Zirkulation als durch ausgedehnte Schwankungen einzelner meteorologischer Elemente.

Die Erkenntnisse über die Auswirkungen von Vorgängen auf der Sonne auf Großwetterlagen und deren Beendigung im Anschluß an eine starke Eruption wurden soweit wie möglich verallgemeinert und in Regeln gefaßt. Sie werden zusammen mit anderen Erfahrungen bei der Ausarbeitung von langfristigen Wettervorhersagen berücksichtigt und in Rechenprogramme eingearbeitet.

Die Welt der Lebewesen unter kosmischen Einflüssen

Die inneren Uhren der Organismen

Vor wenigen Jahrzehnten wurde man auf eine 24stündige Periode verschiedener Körperfunktionen des Menschen aufmerksam. Aus dieser Entdeckung entwickelte sich ein Forschungsgebiet, das sich nun sehr vielseitig mit Rhythmen im Pflanzen- und Tierreich beschäftigt. Besonderes Interesse wird den Rhythmen menschlicher Körperfunktionen entgegengebracht. Eine Zusammenstellung aller bekannten Periodizitäten, zu denen unter anderem die tägliche Variation der Körpertemperatur, des Leberstoffwechsels, der Nierenfunktionen und der Blutzusammensetzung gehört, ergibt ein breites Spektrum. In ihm kommen Periodenlängen von 1/100 Sekunden bis zu einem Jahr vor. Insbesondere die niederfrequenten Rhythmen zeigen eine deutliche Übereinstimmung mit der Periodizität einiger astronomischer Vorgänge, wie der Umdrehung der Erde um ihre Achse, der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne, dem Gezeitenwechsel sowie dem Umlauf des Mondes um den Schwerpunkt des Systems Erde-Mond.

Die jährliche Variation biologischer Vorgänge

Die jahresperiodischen Veränderungen geophysikalischer Größen werden durch den Umlauf der Erde um die Sonne und die um einen Winkel von $66,5^\circ$ gegen die Erdbahnebene geneigte Erdachse hervorgerufen. Durch die ständig wechselnde Stellung der nördlichen und südlichen Gebiete der Erde zur einfallenden Sonnenstrahlung entsteht ein starker

jährlicher Temperaturgang der Luft und des Wassers. Für die Organismen erfordert das eine Anpassung ihrer physiologischen Funktionen an die Temperaturverhältnisse. Zusammen mit der Temperatur wechseln auch der Ultraviolettanteil der Sonnenstrahlung, die relative Luftfeuchte, die Niederschlagsmenge und der Luftdruck.

Ein weiterer variabler Faktor ist die Dauer des Tages beziehungsweise der Nacht. In Richtung höherer geographischer Breiten nimmt die Länge der Hell- und Dunkelzeit ständig zu und erreicht in den Polgebieten die höchsten Werte. Entsprechend ihrem geographischen Standort haben sich die Pflanzen an den lokalen Hell-Dunkel-Wechsel angepaßt, und man unterscheidet Pflanzen, die nur bei Langzeitbelichtung gedeihen, von solchen, die auf kurze Tageslängen eingestellt sind. Zu den Lichtreizen treten noch die Temperaturvariationen hinzu, um das Wachstumsprogramm anlaufen zu lassen, zu dem später noch die Bildung und Reifung der Früchte tritt. Diese Umweltfaktoren sind unbedingt zu beachten, wenn man etwa vorhat, an ihrem natürlichen Standort sehr ertragreiche Nutzpflanzen in einem anderen Territorium anzubauen. Für sehr stark von der Tagesperiodik abhängende Pflanzen besteht daher nur die Möglichkeit, sie auf dem Breitengürtel ihres Vorkommens über die Erdteile zu verschieben. Dabei ist jedoch gleichzeitig auf die Erhaltung der Temperaturverhältnisse zu achten. Allerdings lassen sich die von der Natur mehr oder weniger eng gezogenen Grenzen gegen eine beliebige geographische Verbreitung bestimmter Pflanzen durch Kreuzung der eingeführten Pflanzensorten mit einheimischen erweitern.

Viele Organismen reagieren direkt auf die sich im Laufe eines Jahres verändernde Umwelt, indem sie ihren Stoffwechsel anpassen. So gehen bestimmte Arten in ein Ruhestadium, wenn die Temperaturen absinken. Ein anderer wesentlicher Faktor ist das Nahrungsangebot, das – soweit es von grünen Pflanzen abhängt – dem Wechsel der Jahreszeiten unterliegt. Manche Vogelarten weichen den sich verschlechternden Witterungs- und Nahrungsbedingungen durch einen Flug in wärmere Gebiete aus.

Wichtig für die Steuerung von Entwicklungsprozessen sind die Veränderungen des täglichen Hell-Dunkel-Wech-

sels. Belichtungen photoperiodisch reagierender Organismen vor oder nach der kritischen Tageslänge rufen das Blühen der Pflanzen, die Keimdrüsenentwicklung bei Tieren, den Beginn oder das Ende des Ruhezustandes hervor. Für Aufnahme und Weiterleitung der Lichtreize sorgen bei den Pflanzen Pigmentsysteme, bei den Tieren Sinnesorgane sowie das Nerven- und Hormonsystem. Die Funktion der photoperiodischen Reaktion von Organismen liegt in der genauen Bestimmung des Zeitpunktes, zu dem bestimmte Prozesse einsetzen sollen. Neben den beschriebenen exogenen (von außen angeregten) jahresperiodischen Rhythmen gibt es auch endogene, im Organismus programmierte Rhythmen. Auf sie wurde man durch Experimente aufmerksam, bei denen alle exogenen Einflüsse ausgeschaltet waren. Über den Mechanismus der endogenen Jahresrhythmik ist aber zur Zeit sehr wenig bekannt.

Biologische Vorgänge im Takt des Mondumlaufs

Durch die vom Mond und der Sonne hervorgebrachten Gezeiten tritt an günstig gelegenen Küsten im regelmäßigen Wechsel eine Trockenlegung beziehungsweise Überflutung des randnahen Streifens ein. Für die dort lebenden Pflanzen und Tiere bedeutet das, sich in ihren Funktionen den periodischen Veränderungen der Umweltbedingungen anzupassen. Je nach der Anpassung der Tiere an das Land- oder Wasserleben vollziehen sich ihre Aktivitäten – wie etwa die Nahrungssuche oder die Fortpflanzung – bei Hoch- oder Niedrigwasser. Andere, nicht direkt in dieser Zone lebende Tiere haben sich auf diesen Rhythmus gleichfalls eingestellt. So kommen mit der Flut größere Fische zur Futtersuche in die Gezeitenzone, während zur Zeit der Ebbe die Vögel auf dem wasserfreien Streifen Nahrung aufnehmen. Nach den vorliegenden Erfahrungen scheint es sich bei den Gezeitenrhythmen um einen endogenen Prozeß zu handeln, der aber durch mechanische Reize, z. B. durch die Wellenbewegung, synchronisiert wird.

Wie die Beobachtungen zeigen, werden auch die im Abstand von 14,7 beziehungsweise 29,5 Tagen auftreten-

den Spring- und Nippfluten und die durch die Lichtphasen des Mondes veränderliche Nachthelligkeit von vielen im Meer und im Süßwasser lebenden Organismen benutzt, um Fortpflanzungs- und Entwicklungszeitpunkte einer Art zu synchronisieren. Ein bekanntes Beispiel, der Palolowurm, wurde bereits genannt. Nicht weniger interessant ist das Fortpflanzungsverhalten der an der kalifornischen Küste lebenden Grunionfische. Sie versammeln sich in den Nächten, die auf Vollmond oder Neumond folgen, bei Hochwasser in Strandnähe und lassen sich von den höchsten Wellen auf den Strand schwemmen. Dort werden dann die Eiablage und die Befruchtung der Eier vollzogen. Nach der etwa 14tägigen Entwicklungszeit der Embryonen befreit die Springflut die geschlüpften Fische aus dem Sand und befördert sie ins Meer. Bestimmte im Watt lebende Mückenarten schlüpfen dagegen bei Niedrigwasser. Bei einer speziellen Art kommt es auf eine ganz genaue Synchronisation des Schlüpftermins an, weil die geflügelten Männchen den ungeflügelten Weibchen beim Schlüpfakt helfen.

Neben den wahrscheinlich endogenen Rhythmen, die die Entwicklung steuern und die Arterhaltung sichern, gibt es auch exogene Rhythmen. Zu ihnen gehören die schon erwähnten Veränderungen der spektralen Hellempfindlichkeit im visuellen System beim Menschen und beim Guppy. Über den Mechanismus der lunaren Rhythmik liegen bisher nur Vermutungen vor.

Tagesperiodische Rhythmen der Organismen

Durch die Erdrotation kommt es zu einer Tag-Nacht-Periodik der Lichtintensität und zu einem täglichen Temperaturgang. Beide Größen sind für das irdische Leben von außerordentlicher Bedeutung. Darum finden wir biologische Rhythmen mit einer Periodenlänge von etwa 24 Stunden, sogenannte zirkadiane Rhythmen, bei fast allen Organismen vor. Die zirkadianen Rhythmen steuern einen Großanteil der organischen Funktionen. Nach den bisherigen Experimenten sind die Tagesrhythmen angeborene endogene Schwingungen. Unter konstanten Licht- und

Temperaturverhältnissen stellt sich eine Spontanfrequenz des Tagesrhythmus ein, die bis zu Stunden von der genauen Tagesfrequenz abweichen kann. Die Spontanfrequenz ist stark lichtabhängig. Bei lichtaktiven Organismen ruft daher eine Steigerung der Lichtintensität eine Erhöhung der Spontanfrequenz hervor, während dunkelaktive Organismen sie unter den gleichen Bedingungen reduzieren.

Sogar in einzelligen und in Einzelzellen ist die Tagesrhythmik nachweisbar. In einem Falle lief die Photosynthese auch dann noch rhythmisch weiter, nachdem der Zellkern entfernt worden war. Die endogenen Tagesrhythmen der Zellen von Ein- und Mehrzellern werden durch äußere tagesperiodische Lichtreize und durch den Temperaturgang synchronisiert. Dabei werden die »Zeiger« der für sich gleichlaufenden »zellulären Uhren« auf den gleichen Stand gebracht. Die Lichtreize werden bei den einzelligen und bei den Pflanzen durch deren Pigmentsysteme, bei den Tieren durch die Lichtrezeptoren oder lichtempfindlichen Nervenzellen aufgenommen. Die Synchronisation der Organismen bestimmt die ökologisch wichtige Phasenbeziehung zwischen den tagesrhythmischen Funktionen und der Umweltperiodik. Auf diese Weise finden beispielsweise Bienen zu verschiedenen Tageszeiten die geöffneten Blüten bestimmter Blumen. Der sich aus der Synchronisation ergebende Vorteil ist beiderseitig: Einmal ist die Wahrscheinlichkeit der Pollenübertragung auf eine Blüte der gleichen Art sehr groß, zum anderen finden die Bienen zu jeder Tageszeit geöffnete Blüten zur Nahrungsaufnahme vor.

Die zirkadianen Rhythmen werden von vielen Organismen im Sinne einer Uhr genutzt, die es ihnen ermöglicht, den Zeitablauf auf wenige Minuten genau zu bestimmen. Das ist die Grundlage für eine Orientierung nach der Sonne, dem Mond oder den Sternen. Bienen gehen nach diesem Navigationsverfahren auf Futtersuche und müssen dabei sogar die scheinbare tägliche Bewegung der Sonne einkalkulieren, wenn sie ihren Stock wiederfinden wollen. Darüber hinaus geben die honigsammelnden Bienen ihren Nachfolgerinnen durch charakteristische Tänze die Himmelsrichtung ihres Hinfluges, korrigiert auf die Zeit ihres Tanzes, an, so daß sie den richtigen derzeitigen Anflugwin-

kel zur Nahrungsstelle bekommen. Der Navigationsmechanismus arbeitet auch bei bedecktem Himmel, wenn nur die Helligkeitsverteilung auf die ungefähre Position der Sonne schließen läßt. Einen ähnlichen Orientierungsmechanismus besitzen die Vögel, von denen sich bestimmte Arten nach der Sonne, einige nachfliegende Arten nach den Sternen richten und durch Kompensation der täglichen Drehung der Gestirne ihre gewünschte Zugrichtung einhalten können. Ungeklärt ist noch das Problem, woher Vögel, die aus ihrer angestammten Umgebung abtransportiert wurden, wissen, in welcher Himmelsrichtung ihr Heimatort liegt, so daß sie sich zurückfinden.

Auch bei einigen küstenbewohnenden Tieren, wie bestimmten Krebsen, Spinnen und Insekten, gibt es eine Orientierung nach dem Sonnenstand, die aber auf spezielle Himmelsrichtungen am Heimatort festgelegt ist. Die Orientierung hat hier eine Schutzfunktion, sie soll das Tier bei Gefahr in seinen Schlupfwinkel zurückführen.

Für den Menschen ist der zirkadiane Rhythmus der Körperfunktionen sehr wichtig. Unangenehm äußert sich der Tagesrhythmus bei Kontinentalflügen und bei häufigem Schichtwechsel an der Arbeitsstelle. Vor allem bei Schichtarbeit stellen sich die zirkadianen Funktionen nur ungenügend um, was sich in einem Leistungsabfall in den Nachtstunden äußert. Der Tagesrhythmus muß auch bei der Verordnung von Medikamenten einkalkuliert werden, da ihre Wirkung vom tagesrhythmischen Zustand einzelner Organe abhängt.

Die in den vorangehenden Abschnitten zitierten Beispiele sind nur eine streiflichtartige Auswahl, die etwas von der Vielfalt der kosmisch gesteuerten, in der Natur ablaufenden Vorgänge und Wechselbeziehungen ahnen lassen. Anschließend sollen nun die Auswirkungen kosmischer Störeinflüsse untersucht werden.

Solare Störungen im biologischen Bereich

Als man sich für die Problematik der solaren Störungen und ihrer Einflüsse auf unsere Lebenssphäre zu interessieren begann, wurden die verschiedensten Vorgänge in den

Kreis der Betrachtungen einbezogen. Vermutlich hat dabei auch die Freude am Spiel mit der Statistik entsprechende Stilblüten getrieben. So wurden unter anderem auch die Auswanderungszahlen der Italiener nach den USA, die Heiratsfreudigkeit der Österreicher, der Wechsel konservativer und liberaler Kabinette und die Warenpreise in England mit den Sonnenfleckenrelativzahlen in Beziehung gebracht. Die aufgezählten Beispiele dürfen wir als Kuriositäten ansehen, da sie uns gesellschaftliche und politische Zustände signalisieren, die mit den dafür eigenen gesellschaftlichen Gesetzmäßigkeiten zu behandeln sind.

Verständlicherweise fanden vor allem diejenigen Untersuchungen ein großes Interesse, die sich mit möglichen Einwirkungen auf den biologischen Bereich befaßten. Diese Forschungen sind bei weitem noch nicht abgeschlossen, daher lassen sich hier nur einige Zwischenergebnisse darstellen. Wesentlich ist für uns die Erkenntnis, daß solare Einflüsse auf einige Krankheitsverläufe nicht ausgeschlossen werden können. Zur Sicherung der vorliegenden Resultate sind jedoch noch weitere Untersuchungen erforderlich. Ganz wesentlich ist außerdem die Feststellung, daß die Schlußfolgerungen aus statistischen Erhebungen hervorgehen, in denen zwangsläufig die Einzelperson in der großen Menge der Patienten völlig zurücktreten muß. Darum ist es auch nicht möglich, aus einer Eruption auf der Sonne in gesetzmäßig zwingender Weise auf den Krankheitsverlauf eines beliebigen Patienten zu schließen. Ob sich bei ihm tatsächlich das Krankheitsbild als Folge einer Eruption verändert, hängt von weiteren Faktoren ab, die individuell verschieden sein können. Wenn in den anschließenden Abschnitten von einigen Einzelergebnissen berichtet wird, sollte man gerade diese Überlegungen im Auge behalten.

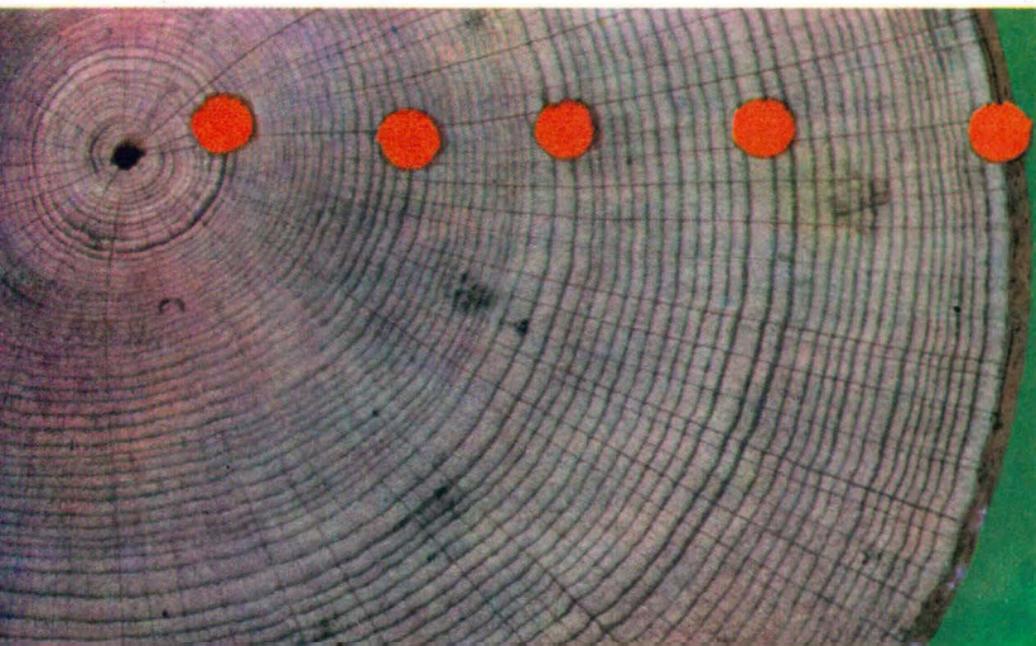
Bei der Entschleierung der Wirkungsmechanismen solarer Einflüsse auf die Organismen treten große Schwierigkeiten auf, die bisher noch nicht bewältigt werden konnten. Als Folge davon existieren zur Erklärung vermuteter Zusammenhänge meist mehrere Arbeitshypothesen nebeneinander.

Das Dickenwachstum der Bäume

Im biologischen Bereich sind die mit der Sonnenfleckenperiode variierenden Dicken der Jahresringe bei Bäumen das bekannteste Beispiel einer solar-terrestrischen Beziehung. Diese Korrelation ist durch ein außerordentlich umfangreiches und überzeugendes Beobachtungsmaterial gesichert. Allein in Europa konnte dieser Effekt an fast 60 Baumarten in den verschiedensten Vegetationsgebieten nachgewiesen werden. Die Ausmessung der Ringbreiten genügend alter Bäume ergab eine um 20 % höhere Wachstumsgeschwindigkeit in den Jahren maximaler Sonnenaktivität. Beim Zustandekommen des gesteigerten Wachstums dürften mehrere Faktoren in komplexer Weise zusammenwirken. Sicher haben solche meteorologischen Größen wie Niederschlagsmengen, Jahresmittel der Lufttemperatur und Sonnenscheindauer besonderes Gewicht.

Das Studium der Jahresringbreiten extrem alter Bäume gestattete es, die 11jährige Periode der Sonnenaktivität bis weit in die Vergangenheit zu verfolgen. Kronzeuge hierfür ist eine Fichte, die zusammen mit anderen im Eis eines

Die Rhythmik der Sonnenaktivität spiegelt sich auch in den Jahresringdicken vieler Baumarten wider. Auf dem abgebildeten Querschnitt eines Buchenastes sind die ausgeprägten Jahresringe markiert, sie folgen im zeitlichen Abstand von 9 bis 13 Jahren aufeinander.



Gletschers am kanadischen Tarr-Fluß eingeschlossen und konserviert wurde. Als der Gletscher zurückzuweichen begann, wurden die Bäume vor einigen Jahrzehnten wieder freigegeben. Nach geologischen Schätzungen haben die Fichten ein Alter von mindestens 30 000 Jahren. Der sorgfältig präparierte Stamm eines Baumes zeigt als kosmisch hochinteressante Tagebuchaufzeichnung eine 11jährige Periode in der Variation der Jahresringe. Hieraus läßt sich schließen, daß schon zu Lebzeiten des Baumes Erscheinungen der Sonnenaktivität existierten und wirksam waren. So groß uns auch die Zeitspanne von einigen Jahrzehntausenden erscheint, für astronomische Begriffe ist sie doch sehr klein.

Krankheit durch Sonnenaktivität?

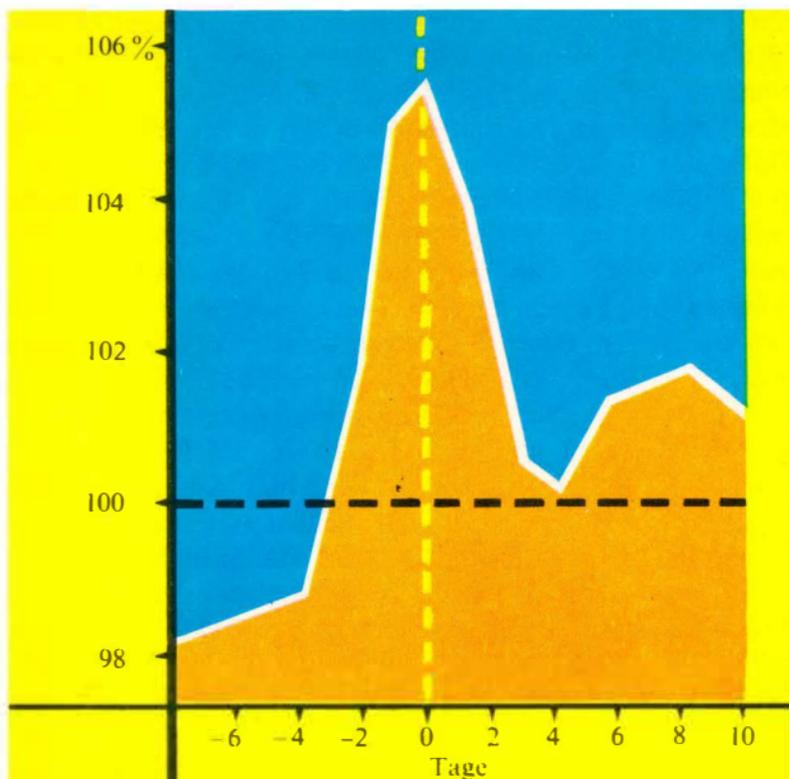
Die Untersuchungen über die Einflüsse solarer Störungen auf Krankheitsverläufe beruhen leider noch auf einem relativ kurzen Zeitraum, so daß die meisten Ergebnisse nur provisorischen Charakter tragen. Manche Krankheiten sind nahezu auch bezwungen, weil durch moderne hygienische Vorsorgemaßnahmen keine Epidemien mehr auftreten. Zu diesen Erkrankungen gehören die Pocken, bei denen die Sterblichkeitsrate noch im vergangenen Jahrhundert recht hoch war. Auffälligerweise zeigte damals die Anzahl der Sterbefälle in Chicago über drei Sonnenfleckenzyklen hinweg einen parallelen Gang zu den Sonnenfleckenrelativzahlen. Um die Jahrhundertwende ging die Pockensterblichkeit erfreulicherweise so stark zurück, daß die Statistik nicht weitergeführt werden konnte.

Zu einem eindeutig negativen Ergebnis führten die Bemühungen, Beziehungen zwischen der Sonnenaktivität und solchen organischen Störungen wie Krämpfen bei Schwangeren (Eklampsien), Lungenembolien und Epilepsie aufzustellen.

Nach einer vor etwa 40 Jahren in der argentinischen Stadt Cordoba durchgeführten statistischen Erhebung traten Lungenblutungen Tuberkulosekranker an Tagen mit erdmagnetischen Störungen häufiger auf. Während normalerweise, d. h. an Tagen ohne erdmagnetische Störung,

nur 1 bis 2 % der Patienten Blutungserscheinungen hatten, kletterte an erdmagnetisch gestörten Tagen der Prozentsatz auf 10 bis 13 %. Dieser Befund wird durch Beobachtungen unterstützt, nach denen in Mitteleuropa im Untersuchungszeitraum von 1948 bis 1952 Lungenblutungen Tuberkulosekranker überhäufig mit Nordlichterscheinungen zusammenfielen. Natürlich sind sowohl die erdmagnetische Unruhe als auch die Nordlichter in diesem Zusammenhang zunächst nur als Indikator stärkerer Eruptionen anzusehen, deren Störungen wahrscheinlich zur Auslösung der Blutungen beigetragen haben. Die Anzahl der 1936 in Hamburg an Tuberkulose verstorbenen Personen war an den Tagen größer, an denen sich stärkere Eruptionen auf der Sonne ereigneten. Wenn hier lediglich ein Jahr angegeben ist, bedeutet das zunächst nur, daß sich die Untersuchung auf diesen Zeitraum beschränkt.

Seit geraumer Zeit gehört die Erforschung der Herz- und Kreislauferkrankungen zu den Schwerpunkten medizinischer Forschung. Natürlich war und ist dabei auch das Problem der auslösenden Faktoren Gegenstand der fachwissenschaftlichen Diskussionen. Einige statistische Untersuchungen deuten auf einen Störeinfluß durch solare Eruptionen hin. In Swerdlowsk ereigneten sich 60 % der Herzinfarkterkrankungen und der daraus resultierenden Todesfälle während oder im Anschluß an starke und sehr starke magnetische Stürme. Da sie nur ungefähr ein Drittel aller magnetischen Stürme ausmachen, bedeutet das eine beträchtliche Konzentration der Erkrankungen. Auffällig ist auch eine andere Beobachtung, nach der in einigen sowjetischen Großstädten wie Moskau, Minsk und Irkutsk innerhalb von fünf Tagen ebenso viele Menschen Herzinfarkte erlitten und Kreislaufstörungen bekamen wie sonst im ganzen Monat. Eine in den USA durchgeführte analoge statistische Auswertung aller Todesfälle durch Herzinfarkte und Schlaganfälle aus einem Zeitraum von vier Jahren ergab dagegen keine Korrelation zu geomagnetischen Stürmen. Die widersprüchlichen Ergebnisse erfordern weitere kritische Untersuchungen des möglicherweise recht verwickelten Einwirkungsmechanismus. Zu klären ist auf jeden Fall, ob nicht eine bestimmte Gruppe von Patienten doch gefährdet ist.



Der Prozentsatz der Selbstmordfälle (weiße Kurve) ist gegenüber dem statistischen Mittelwert (schwarz gestrichelte Linie) etwas erhöht, wenn im Zentralgebiet der Sonnenscheibe die Anzahlen der Sonnenfackeln ein relatives Maximum erreichen. Der Statistik liegen rund 45 000 Selbstmordfälle aus verschiedenen europäischen Großstädten zugrunde. Als Nullpunkt der Zeitskala (gelbe gestrichelte Linie) wurde die Zeit gewählt, in der die Fackelanzahl in der Sonnenmitte am größten war.

Psychische Störungen

Die Bearbeitung von rund 45 000 Selbstmordfällen in einzelnen europäischen Großstädten (Berlin, Hamburg, Kopenhagen, Zürich) aus verschiedenen Jahren zwischen 1917 und 1932 läßt einen Anstieg der Selbstmordzahlen an den Tagen erkennen, an denen auf der Sonne Eruptionen beobachtet wurden. Allerdings bleibt die Erhöhung der Selbstmordzahlen in geringen Grenzen, der Mittelwert

wird höchstens um 6 % überschritten. Ein wesentliches Argument für die Realität der festgestellten Tendenz ist die Tatsache, daß die größere Neigung zu Selbstmorden nach solaren Eruptionen an räumlich weit getrennten Orten auftrat. Dadurch ist zunächst die Unabhängigkeit der Beobachtungen im statistischen Sinne gewährleistet. Außerdem wird einer Forderung nach der Wirksamkeit solarer Effekte an beliebigen Orten auf der Erde entsprochen.

Auch die Häufigkeit der Verkehrsunfälle in verschiedenen Ländern und Großstädten wurde mit den Erscheinungen der Sonnenaktivität in Verbindung gebracht. Für die statistische Auswertung standen Unterlagen von mehr als 300 000 Verkehrsunfällen zur Verfügung. Dabei fand man nach dem Auftreten von Eruptionen eine sprunghafte Erhöhung der Unfallzahlen von rund 10 %. Wie ergänzende experimentelle Untersuchungen an Fahrzeugführern ergaben, ist die Reaktionsgeschwindigkeit auf Signale um das Vierfache langsamer als an normalen Tagen. Die Bedeutung dieses Sachverhaltes für das tägliche Leben liegt klar auf der Hand. Niemand kann im voraus wissen, welcher Fahrzeugführer für eine organische Störung oder eine psychische Fehlleistung disponiert ist und demzufolge möglicherweise einen Unfall verursacht. Daher könnte man sich vorstellen, daß nach einer weiteren Erhärtung der vorliegenden Beobachtungen und einer Klärung der Zusammenhänge in absehbarer Zukunft im Verkehrslagebericht außer der Wettermeldung und dem Straßenzustandsbericht noch eine Rubrik »Warnung vor kosmischen Störungen« gesendet und eine zeitweilige Einschränkung des Fahrverkehrs ausgesprochen wird.

Natürlich sind die von der Sonne ausgehenden Störeinflüsse nur ein Teil der auf uns alle einwirkenden Reize. Wie entsprechende Untersuchungen ergaben, wirken meteorologische Bedingungen gleichfalls auf den menschlichen Organismus ein. Insbesondere Föhnlagen führen ständig zu einer großen Anzahl von Kreislaufkrankungen und in der Folge davon auch zu Todesfällen bei dafür disponierten Personen. Das Nebeneinander verschiedener Störeinflüsse kompliziert natürlich die Aufklärung der wirksamen Mechanismen.

Etwa auf der gleichen Linie wie die Verkehrsunfallstatistik bewegt sich die Unfallhäufigkeit im Bergbau. Wie eine Auswertung von rund 5 500 Bergwerksunfällen ergab, stieg die Zahl der Arbeitsunfälle an erdmagnetisch gestörten Tagen über das mittlere Maß an. Ergänzende Untersuchungen sind aber noch erforderlich, um das Ergebnis zu sichern. Interessant wäre es auch zu erfahren, ob in anderen Bereichen der Produktion ähnliche Zusammenhänge existieren. Ihre Kenntnis wäre von großem gesellschaftlichem Nutzen.

Geburt und altersbedingter Tod

Auch die Zahlen der Geburten und der Todesfälle wurden von den Statistikern auf eine mögliche Abhängigkeit von solaren Ereignissen ins Examen genommen. Bisher ergaben sich aber keine Hinweise darauf, daß der altersbedingte Tod von solaren Störeinflüssen ausgelöst wird.

Schwach angedeutet, aber noch keineswegs gesichert, ist eine Tendenz, nach der die Beginne der Wehentätigkeit zu Zeiten erdmagnetischer Störungen etwas häufiger sind. Ein allergischer Punkt solcher Untersuchungen ist die genaue Angabe, wann die Wehen einsetzen. Vor allem bei erstgebärenden Frauen werden die am Anfang schwachen Wehen kaum bewußt registriert. Die Häufigkeit von Totgeburten scheint gleichfalls mit der Sonnenaktivität gekoppelt zu sein. Wie entsprechende Untersuchungen ergaben, ist die Anzahl der Totgeburten an Tagen mit ionosphärischen Störungen deutlich größer als an Tagen mit einer ungestörten Ionosphäre.

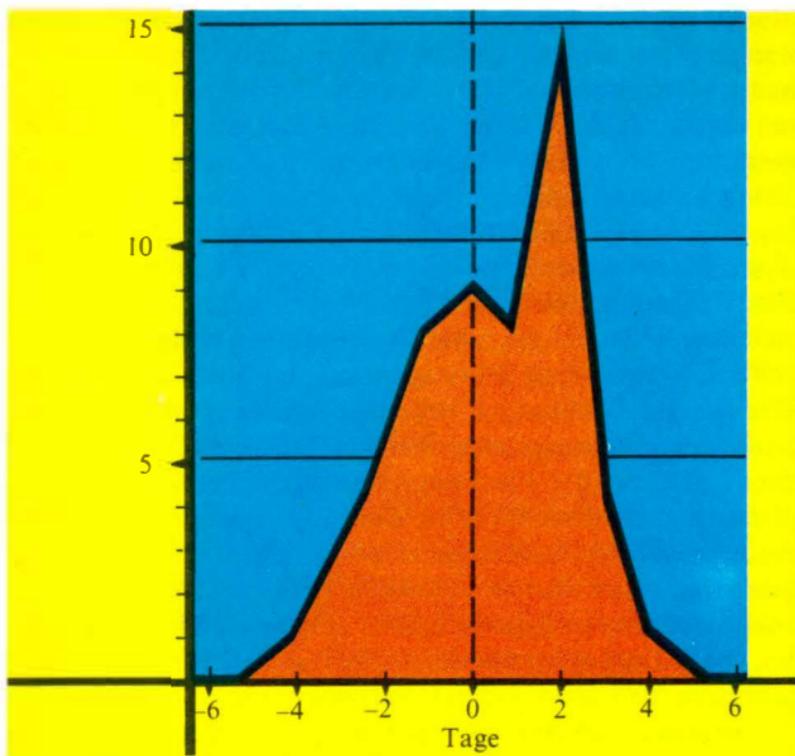
Das Blutserum verändert seine Eigenschaften

Als sich der japanische Arzt Takata mit Laboruntersuchungen des Blutes gesunder männlicher Personen beschäftigte, entdeckte er etwas Eigenartiges. Bei der Ermittlung der Flockungszahlen des Blutserums fiel ihm auf, daß die größtenteils konstanten Werte zu bestimmten Zeiten auffallend anstiegen. Beobachtungen dieser Art wurden in bestimmten Zeiträumen (1938–1943, 1948–1950) gemacht.

Nach 1951 nahmen die zeitweiligen Störungen der Flockungszahlen wieder ab. Die nach ihrem Entdecker benannte Reaktion trat in den genannten Jahren gleichzeitig an Versuchspersonen auf, die räumlich weit voneinander getrennt waren. Als Auslöser konnte man meteorologische Faktoren ausschließen, dagegen sprechen einige Gründe für eine solare Einwirkung. Es ist auffällig, daß jeweils dann die Flockungszahlen anstiegen, wenn eine große Fleckengruppe das Zentralgebiet der Sonne passierte. Da sich in den Fleckengruppen oft Eruptionen ereignen, ist mit zeitlich verzögerten Störungen auf der Erde zu rechnen. Wie die Beobachtungen erkennen lassen, tritt das Maximum der Flockungszahlenanstiege etwa zwei Tage nach dem Durchzug der Fleckengruppe durch den Zentralmeridian auf der Sonnenscheibe ein. Eine Wiederholungstendenz der steilen Flockungszahlenanstiege im 27- bis 28tägigen Rhythmus wurde ebenfalls beobachtet. Außer den schon erwähnten Eigenschaften zeigen die Flockungszahlen einen Tagesgang mit dem Minimum bei Sonnenaufgang und dem Maximum bei Sonnenuntergang.

Takatas Experimente fanden große Beachtung und wurden an anderen Instituten wiederholt. Dabei kam man jedoch zu recht gegensätzlichen Ergebnissen. Zum Teil konnten seine Resultate bestätigt werden, zum Teil ließ sich keine Beziehung zu solaren Ereignissen nachweisen. Selbst Takata machte die Erfahrung, daß nach 1951 die Störungen der Flockungszahlen wieder zurückgingen. Das weitgehend ungelöste Problem wird dadurch noch rätselhafter. Es wäre aber noch zu früh, die Reaktion als Scheineffekt abzutun. Die bisher widersprüchlichen Ergebnisse bei den Blutserumuntersuchungen müssen nicht unbedingt gegen die Realität der Beziehung sprechen. Schließlich könnten die Blutentnahmen an den Versuchspersonen zu individuell verschiedenen psychischen Reaktionen führen, die die Meßwerte verfälschen.

Praktische Bedeutung bekommt unter Umständen die Feststellung, daß sich im Gefolge starker Eruptionen auf der Sonne die Gerinnungsfähigkeit des Blutes verändern kann. Für Patienten in kritischen Zuständen, z. B. während und nach Operationen, könnte der Effekt Anlaß zu Komplikationen sein. Die veränderte Blutgerinnungsfähigkeit



Die Anzahlen der raschen Anstiege der Flockungszahlen des Blutes von Versuchspersonen erhöhen sich auffällig beim Durchgang von Fleckengruppen durch den Zentralmeridian der Sonne. Als Nullwert wurde der Zeitpunkt des Durchganges der Flecken durch den Zentralmeridian gewählt (gestrichelte Linie). Die größte Anzahl der raschen Flockungsanstiege wurde nach der vorliegenden Untersuchung zwei Tage nach der Passage der Flecken durch die Scheibenmitte der Sonne festgestellt.

kann außerdem bei Personen mit erkrankten Gefäßsystemen zu Thrombosen führen. Bei der Gefährlichkeit dieser Erkrankungen war es daher ein folgerichtiger Schritt, wenn sich in einigen Spezialkliniken verschiedener Länder gemischte Arbeitskreise der Erforschung des Auslösemechanismus zugewandt haben. Von astronomisch-geophysikalischen Vorhersagezentren gehen den Forschungskliniken Warnungen vor den Eruptionen zu, damit gefährdete Patienten eventuell rechtzeitig für die Zeitdauer der erdmagnetischen Stürme und ihrer Nebenerscheinungen in

entsprechend eingerichtete Abschirmräume gebracht werden können. Durch diese Vorsorgemaßnahmen hofft man, manchen Komplikationen zu begegnen. Außerdem läßt sich vielleicht etwas über den Wirkungsmechanismus der solaren Störungen auf den menschlichen Organismus erfahren.

Vermutungen über den Einwirkungsmechanismus

Das heutige Wissen über den Einwirkungsmechanismus der solaren Störungen erlaubt es leider noch nicht, ein Bild von den ablaufenden Vorgängen zu entwerfen. Das ist auch der Grund dafür, weshalb bei der Beschreibung einzelner Effekte bei Krankheitsverläufen kein Versuch gemacht wurde, sie zu erklären. Naheliegend und allein wissenschaftlich begründet ist die Annahme, sich die Folgen der solaren Einflüsse als Wirkung einfallender Teilchen und Änderungen der elektromagnetischen Felder vorzustellen, die uns umgeben. Wie schon mehrfach angedeutet wurde, ist es aber ungeheuer schwierig, die zwischen den solaren Störungen und den Reaktionen der Organismen bestehenden Zusammenhänge aufzudecken. Angesichts dieser Situation ist es nicht verwunderlich, wenn man versuchte, auch uns noch unbekannte physikalische Kräfte für die Erklärung heranzuziehen. Solange aber über diese Kräfte keine fundierten Kenntnisse vorliegen, verläßt man bei derartigen Erklärungsversuchen den sicheren wissenschaftlichen Boden.

Bleiben wir also dabei, die Beobachtungen mit Hilfe der bekannten physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu deuten. Vor allem ist da an die uns ständig umgebenden elektromagnetischen Felder zu denken. Ihre Stärke verändert sich nicht allein mit den örtlichen Gegebenheiten, sondern, wenn wir an die Störeinflüsse von der Sonne denken, auch mit der Zeit. Wesentlich ist bei der Einwirkung auf unseren Organismus nicht die absolute Stärke der magnetischen Felder, sondern die Änderung der Intensität. Die zeitlich variierenden Felder können im Endeffekt Fehlleistungen des Nervensystems hervorrufen. Ein entsprechendes Beispiel ist aus der Ornithologie bekannt geworden. Im Verlauf der außergewöhnlichen Eruptionen im August

1972 wurde beobachtet, daß die Zugvögel auf ihrem Flug die Orientierung verloren. Die bisher einzig auf diesem Gebiet dastehende Beobachtung weist darauf hin, daß Änderungen der elektromagnetischen Felder unmittelbar störend in den Navigationsmechanismus der Vögel eingreifen können.

Die hier geäußerten allgemeinen Gedanken verkörpern sicher nur eine der denkbaren Erklärungen, die außerdem nur als ein sehr grobes Modell der tatsächlich im Organismus ablaufenden Vorgänge anzusehen sind. Überhaupt sollte mit dem skizzierten Deutungsversuch nur darauf aufmerksam gemacht werden, in welcher Richtung man die komplizierten Zusammenhänge zwischen solaren Erscheinungen und biologischen Prozessen vermutet.

Schnelle Teilchen aus den Tiefen des Alls

Der Überblick über die Himmelskörper, die auf unseren Lebensraum und uns selbst einwirken, wäre unvollständig, wollten wir uns lediglich auf die Sonne und den Mond beschränken, obwohl wir diesen beiden Himmelskörpern den Löwenanteil von Einwirkungen verdanken. Ein Bruchteil davon geht jedoch auf energiereiche Teilchen zurück, die aus den Tiefen des Weltalls zu uns gelangen.

Wie wir uns erinnern, sind in dem aus dem All kommenden Teilchenstrom vor allem leichtere Atomkerne wie Wasserstoff und Helium enthalten, denen aber auch ein geringer Anteil schwerer und schwerster Atomkerne, unter anderem das Uran, beigemischt ist. Die überwiegende Anzahl der Teilchen stammt von den Eruptionsgebieten auf der Sonne. Die restlichen Teilchen kommen aus den Tiefen des Weltalls.

Die Meßgeräte erlauben leider nur Rückschlüsse auf die Bewegungsrichtung der Teilchen in ihrem letzten Bahnabschnitt, so daß der Herkunftsort nicht lokalisiert werden kann. Da die Teilchen eine elektrische Ladung tragen, wird ihre Bewegung sicher von den interstellaren und interplanetaren Magnetfeldern beeinflusst, und die letzten beobachteten Bahnstücke lassen kaum mehr Rückschlüsse auf die Ursprungsorte zu. Die zum Teil extrem hohen

Teilchenenergien bestärken aber theoretische Überlegungen, daß die Teilchen in sehr kräftigen Magnetfeldern eine starke Beschleunigung erfahren haben. Die Bedingungen für solche Vorgänge können sich im Verlauf gewaltiger kosmischer Explosionen ergeben. Hierbei wäre sowohl an Supernovaausbrüche massereicher Sterne wie auch an die noch umfassenderen explosiven Vorgänge in den Zentralgebieten spezieller Sternsysteme oder der rätselhaften Quasare (quasistellare Radioquellen) zu denken.

Betrachten wir nun die Wirkung dieser superharten energiereichen Teilchen auf die Lebewesen. Wie schon erwähnt, rufen die Teilchen durch Zusammenstöße in der Erdatmosphäre mehr oder weniger ausgeprägte Teilchenschauer hervor, die auch an der Erdoberfläche als sogenannte Sekundärstrahlung nachweisbar sind. Gelegentlich dringen extrem energiereiche schwerere Atomkerne ungehindert durch die Atmosphäre bis zum Erdboden vor. Dabei kann es auch zu Zusammenstößen mit einem der schweren Atomkerne kommen, die in großer Zahl in den Zellen unseres Organismus eingebaut sind. Der Aufprall bewirkt eine Atomzertrümmerung, bei der kurzzeitig eine intensive »harte« Strahlung entsteht, die im unmittelbar angrenzenden Gewebe eine Schädigung verursacht. Dagegen bleibt das weiter umliegende Gewebe von der Bestrahlung unberührt. Diese Ereignisse sind aber verhältnismäßig selten, so daß keine allgemeinen Strahlenschäden für die Lebewesen zu befürchten sind.

Die aus dem interstellaren Raum gegen die Erde anfliegenden energieärmeren Teilchen werden von dem interplanetaren und dem irdischen Magnetfeld abgefangen, das hier eine Schutzfunktion hat. Die absorbierende Wirkung des interplanetaren Magnetfeldes verrät sich indirekt durch einen Intensitätsabfall der kosmischen Strahlung, wenn seine Stärke durch eine erhöhte Sonnenaktivität zugenommen hat.

Allein schon die normale Strahlenbelastung, der die Kosmonauten während der Raumflüge ausgesetzt sind, ist größer als an der Erdoberfläche. Hinzu kommt noch, daß bei stärkeren Eruptionen auf der Sonne die Intensität der Teilchenstrahlung kurzzeitig auf solche Werte ansteigen kann, die eine Gefahr für die Gesundheit der Kosmonauten

bilden. Daher ist bei der Terminplanung längerer bemanneter Raumflüge eine möglichst genaue Vorhersage über zu erwartende Eruptionen äußerst wichtig.

Während ihres Aufenthaltes im All werden die Raumschiffbesatzungen sowohl von der primären als auch von der sekundären Teilchenstrahlung getroffen. Die Sekundärstrahlung entsteht beim Aufschlag der Primärstrahlung auf die Wände des Raumfahrzeuges, die dadurch wie ein Teil eines Röntgengerätes wirken und harte Strahlung aussenden. Durch eine besondere Außenhautkonstruktion läßt sich der Strahlungspegel der Sekundärstrahlung im Innern der Raumschiffe vermindern. Die Primärstrahlung durchsetzt zum Teil das Raumschiff sowie den menschlichen Körper und verursacht dabei lokale Gewebeschäden. Durch ausgeklügelte untersuchungstechnische Verfahren gelang es, in den Schutzhelmen amerikanischer Raumflieger die Einschußkanäle solcher Teilchen sichtbar zu machen und damit ihre Anzahl zu ermitteln. Außerdem ließen sich die Kopfabschnitte lokalisieren, die von den Teilchen getroffen wurden. Die medizinischen Untersuchungsergebnisse sind aber insofern beruhigend, als die Schädigungen in tolerierbaren Grenzen geblieben waren.

Neuerdings ergaben sich erste schwache Anhaltspunkte für geringfügige Störungen der unteren Ionosphäre durch Strahlungsstöße im Wellenlängenbereich der Röntgenstrahlung, die von einigen Sternen ausgehen. Von Zeit zu Zeit ereignen sich auf ihnen »Strahlungsgewitter«, deren »Blitze« in den hochempfindlichen Meßapparaturen der erdumkreisenden Satelliten aufgezeichnet werden. Gleichzeitig treten geringfügige Übertragungsstörungen von Funksignalen auf der Erde auf. Es liegt nahe, beide Erscheinungen in einen ursächlichen Zusammenhang zu bringen. Selbstverständlich sind die solaren Störeinflüsse auf die Ionosphäre wesentlich größer als jene, die von einigen der sogenannten Röntgensterne ausgehen. Deshalb besteht vor allem ein fachwissenschaftliches Interesse an der Tatsache, daß der meßtechnische Nachweis ganz spezieller stellarer Störungen auf die Ionosphäre in den Bereich des Möglichen gerückt ist. Schädigungen des Organismus können uns aber aus diesen schwachen Störeinflüssen keinesfalls entstehen.

Rückblick

Der in Jahrtausenden genährte und gewachsene Glaube an die beherrschenden Einflüsse der Gestirne auf das menschliche Leben konnte erst in der Neuzeit schrittweise – und zwar in dem Maße, wie sich die Astronomie und ihre benachbarten Naturwissenschaften entwickelten – abgebaut werden.

Heute stehen wir der Frage nach kosmischen Einflüssen nüchtern gegenüber und lassen nur das gelten, was uns durch unbestechliche Meßgeräte und gesicherte Beobachtungen signalisiert wird. In der Tat stehen wir und unsere Umwelt unter kosmischen Einflüssen, wir verdanken ihnen, wenn wir an Art, Stärke und Konstanz der Sonnenstrahlung über Jahrmilliarden denken, überhaupt unsere Existenz. Müssen wir nun befürchten, durch die betragsmäßig kleinen Störungen, die dem enormen von der Sonne kommenden Energiestrom beigemischt sind, Schädigungen davonzutragen? Die Antwort auf diese Frage lautet eindeutig »Nein«. Die nachgewiesenen Störeinflüsse liegen für die Gesamtheit der verschiedenartigen Lebewesen innerhalb der Toleranzgrößen, die ihre Erhaltung nicht in Frage stellen. Es gibt darüber hinaus gewichtige Gründe für die Annahme, daß die heute vorhandenen Störeinflüsse schon seit der Frühgeschichte der Erde größenordnungsmäßig gleich geblieben sind. Das bedeutet, daß sich die Welt der Lebewesen trotz des ständigen extraterrestrischen Störeinflusses ohne Beeinträchtigung entwickelt hat. Andernfalls wäre wahrscheinlich irgendwann in der Vergangenheit die Weiterentwicklung des Lebens auf der Erde zum Stillstand gekommen, oder es wäre überhaupt ausgestorben. Immerhin schwächte sich mehrmals wä-

rend längerer Zeiträume in der Erdentwicklung das Magnetfeld ab, was in der Wirkung auf die uns interessierenden Probleme einem Öffnen des magnetischen Schutzdaches gegen kosmische Einflüsse gleichkam. Trotzdem haben offensichtlich viele der damals lebenden Organismen die Belastung durch die kosmische Strahlung überstanden. Die Tatsache, daß sich in einer mehr als vier Milliarden währenden biologischen Evolution hochentwickelte Lebewesen herausgebildet haben, dürfte der überzeugendste Beweis dafür sein, daß von einer ständigen und gravierenden Gefährdung des irdischen Lebens keine Rede sein kann. Auf jeden Fall ist es beruhigend zu wissen, daß dem Bestand von Leben auf unserem Planeten auch in den nächsten vier bis fünf Milliarden Jahren von der Sonne her keine akute kosmische Gefahr droht.

Die Wirkungen der kosmischen Störeinflüsse auf den Menschen sind im allgemeinen schwach. Nur für einzelne, durch bestimmte Krankheiten disponierte Menschen können solare Einflüsse unter Umständen zu kritischen Zuständen führen. Das ist auch der Grund, weshalb gemeinsam von naturwissenschaftlicher und medizinischer Seite an der Aufdeckung der Wirkungsmechanismen gearbeitet wird. Wenn über sie erst einmal Klarheit besteht, werden sich wirksame Vorsorgemaßnahmen ergreifen lassen. Andererseits beanspruchen die verschiedenen kosmischen Einflüsse ein hohes allgemeines wissenschaftliches Interesse. Sie verhelfen uns gerade durch ihre Abweichungen vom Normalen zu neuen Erkenntnissen über physikalische Verhältnisse im geophysikalischen Bereich oder bei biologischen Vorgängen.

»akzent« – die Taschenbuchreihe
mit vielseitiger Thematik:
Mensch und Gesellschaft,
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft
und Technik. – Lebendiges Wissen
für jedermann, anregend und aktuell,
konkret und bildhaft.

Weitere Bände:

Brentjes, Die Erfindung des Haustieres
Schönknecht, Schneller – aber wie?
Thomas/Thomas, Milliarden Jahre Leben
Freytag, Vom Wasser- zum Landleben
Dorschner, Planeten – Geschwister
der Erde?
Zimmermann, Nur eine Münze...
Becher, Ist das Eigentum ewig?