

HELIOPHYSIK

Das Klima aus dem All

Die Sonnenaktivität und die Bewegung des Sonnensystems durch die Milchstraße spiegeln sich im Erdklima wider.

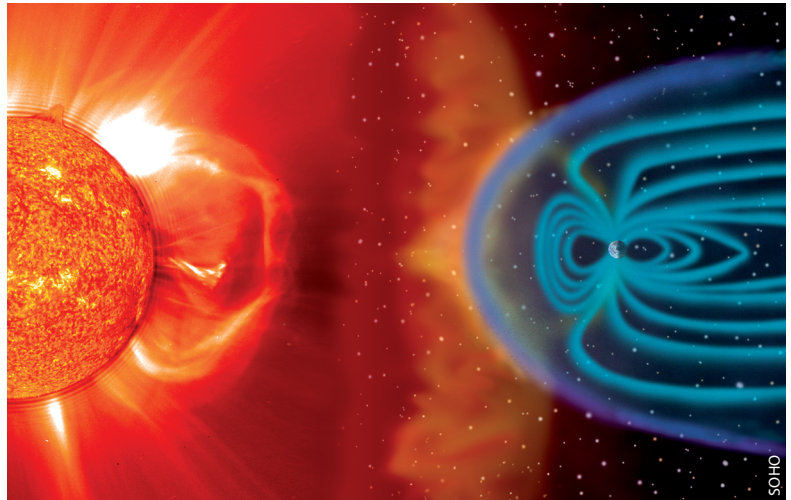
Klaus Scherer und Horst Fichtner

Die Sonne ist nicht der unveränderliche Stern, als der sie unserem Auge erscheint. Kurzzeitige Veränderungen auf der Zeitskala von Stunden und Tagen („Weltraumwetter“) beeinflussen die Erdatmosphäre ebenso wie langfristige Variationen auf der Skala von Jahren bis zu hunderten von Millionen Jahren („Weltraumklima“). Eine der spannendsten Fragen der Helio-physik ist, ob ein dominanter Klimaeffekt von Variationen der elektromagnetischen oder der kosmischen Strahlung hervorgerufen wird.

Drei Schutzschilde schirmen die Erde vor extraterrestrischen Einflüssen ab: die Atmosphäre, die Magnetosphäre und die Heliosphäre. Die vorangegangenen Artikel haben die letzten beiden Sphären und ihre Variabilität bereits angedeutet, im Folgenden wird nun deren Kopplung an die Erde und ihre Atmosphäre betrachtet. Die in Frage kommenden physikalischen Einwirkungen sind im Wesentlichen thermische Effekte, elektromagnetische Strahlung, Ionisation und Kernprozesse. Die daraus resultierenden Phänomene sind komplex und betreffen u. a. Veränderungen der Atmosphärenchemie, Auswirkungen auf die Bildung von kosmogenen Elementen, die Wolkenentstehung und das Klima. Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluss der Sonne auf die irdische Technik: Strahlungsausbrüche können zu Unterbrechungen in der Energieversorgung und Kommunikation führen oder missweisende Magnete und ein verwirrtes GPS verursachen.

Die elektromagnetische Strahlung der Sonne, der Sonnenwind oder z. B. koronale Massenauswürfe sind die entscheidenden Faktoren, die das so genannte Weltraumwetter beeinflussen, das sich auf Zeitskalen von Tagen und Monaten abspielt. Darüberhinaus gibt es noch die heliophysikalisch-terrestrischen Einflüsse auf Zeitskalen des Sonnenzyklusses (ca. 11 bis 22 Jahre) bis zu hunderten von Millionen Jahren, die das „Weltraumklima“ betreffen. Letzteres wird durch den veränderlichen Zustand des interstellaren Mediums bestimmt, das die Sonne während eines Umlaufes um das galaktische Zentrum durchquert. Dabei spielen die hochenergetischen Teilchen der kosmischen Strahlung eine möglicherweise entscheidende, aber noch kontrovers diskutierte Rolle, die hier beschrieben wird.

Die Einflüsse aus dem Weltraum auf das System Erde-Atmosphäre sind mannigfaltig und einerseits



Für das Erdklima spielen nicht nur die Schwankungen der Sonnenstrahlung eine Rolle, sondern auch die längerfris-

tigen Veränderungen des interstellaren Mediums, durch das sich unser Sonnensystem bewegt.

so selbstverständlich, dass wir sie im täglichen Leben nicht bewusst wahrnehmen. Andererseits sind sie so subtil, dass sie sich nur mit wissenschaftlichen Methoden erfassen und untersuchen lassen. Während zum Beispiel der Wechsel von Tag und Nacht sowie die Jahreszeiten auf Zeitskalen unter 1000 Jahren noch als Eigenschaften der Erde angesehen werden können, unterliegen sie langfristig der Gravitationskraft von Mond und Planeten. Der Mond beeinflusst die Länge von Tag und Nacht, während die Planeten die Bahnparameter der Erde stören, wodurch sich die Einstrahlung der Sonne ändert. Der letzte Effekt hat die so genannten Milanković-Zyklen zur Folge, die z. B. in Eisbohrkernen archiviert sind.

KOMPAKT

- Der auf die Erde einfallende elektromagnetische Strahlungsfluss variiert parallel zum 11-Jahres-Zyklus der Sonne und spiegelt sich im Erdklima wider.
- Klimarelevant ist auch der Fluss an kosmischen Teilchen, die auf die Erde treffen. In Zeiten geringer Sonnenaktivität – wie insbesondere während des Maunder-Minimums zwischen 1645 und 1715 – steigt der Teilchenfluss, und das Klima wird kälter.
- Auf der Zeitskala von 500 Millionen Jahren stimmen die aus Muschelfossilien abgeleiteten Temperaturänderungen verblüffend gut mit Modellrechnungen überein, die die Bewegung des Sonnensystems durch die Spiralarme der Milchstraße berücksichtigen.

Dr. Klaus Scherer,
Priv.-Doz. Dr. Horst
Fichtner, Institut für
Theoretische Physik,
Lehrstuhl IV: Welt-
raum- und Astrophy-
sik, Ruhr-Universität
Bochum, 44780
Bochum

Während in den vergangenen 50 Jahren die von Planeten verursachten Störungen auf das Erde-Atmosphäre-System intensiv untersucht wurden, sind in den letzten Jahren die Variabilität der elektromagnetischen Strahlung der Sonne sowie deren Ausbrüche hochenergetischer Teilchen ins Blickfeld der Forschung geraten. Dabei wurde auch erkannt, dass nicht nur die Kopplung zwischen Sonne und Erde das Klima beeinflusst, sondern auch Änderungen im lokalen interstellaren Medium, die die Flüsse von kosmischer Strahlung sowie den Eintrag von neutralem Wasserstoff [1] in die Atmosphäre ändern.

Kurzzeitige Effekte auf Zeitskalen von Tagen und Monaten fallen unter das Stichwort Weltraumwetter. Dieser Begriff umfasst die Physik von eruptiven Ereignissen auf der Sonne, wie z. B. koronale Massenauswürfe und Sonnen-Flares, deren Ausbreitung im interplanetaren Raum und ihre Wechselwirkung mit der Magnetosphäre und der Atmosphäre der Erde. Die Magnetosphären-Effekte werden im Artikel von Büchner et al. in diesem Heft beschrieben. Durch die Veränderung des irdischen Magnetfeldes kann es zu Induktionsströmen in Überlandleitungen und Störungen im Funkverkehr kommen. Solche Ereignisse können auch die oberen Atmosphärenschichten erwärmen, die sich dabei ausdehnen, sodass die Lebensdauer von Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen verkürzt wird.

Sonneneruptionen führen zusätzlich zu höheren Flüssen an hochenergetischen Teilchen (solare kosmische Strahlung, siehe den Artikel von Heber et al. in diesem Heft), die elektronische Bauteile stören oder zerstören können und die bemannte Raumfahrt gefährden. Zurzeit werden weltweit Stationen aufgebaut (in Deutschland z. B. an der Universität Greifswald das Myonen-Teleskop MuSTAnG), die das Weltraumwetter vorhersagen sollen, um technische Schäden möglichst gering zu halten und Astronauten zu schützen. Diese und weitere Aspekte sind in [2–4] ausführlich behandelt. Im Folgenden werden die längerfristigen extraterrestrischen Einflüsse vorgestellt, das Weltraumklima.

Seit ca. 300 Jahren ist bekannt, dass die Sonne nicht der unveränderliche Stern ist, als der sie unserem Auge erscheint. Damals wurde der 11-Jahres-Zyklus der Sonnenflecken (Schwabe-Zyklus) entdeckt, mit dem auch eine Änderung der Sonneneinstrahlung auf die

INSTRUMENTE

■ Das **Muon Spaceweather Telescope for Anisotropies Greifswald (MuSTAnG)** ist ein Teleskop zum Nachweis von Myonen, die kosmische Teilchen in der Atmosphäre erzeugen. Als Teil des Space Weather European Network (SWE-NET) dient es der Vorhersage des Weltraumwetters. www.mustang.uni-greifswald.de/index.htm

■ Das Experiment **CLOUD (Cosmics Leaving Outdoor Droplets)** am CERN nutzt Protonen aus dem PS-Beschleuniger, um den Einfluss von galaktischen kosmischen Teilchen auf die Wolkenbildung und das Erdklima zu untersuchen. Im Oktober 2006 ist ein Prototyp in Betrieb gegangen. <http://cloud.web.cern.ch/cloud/>

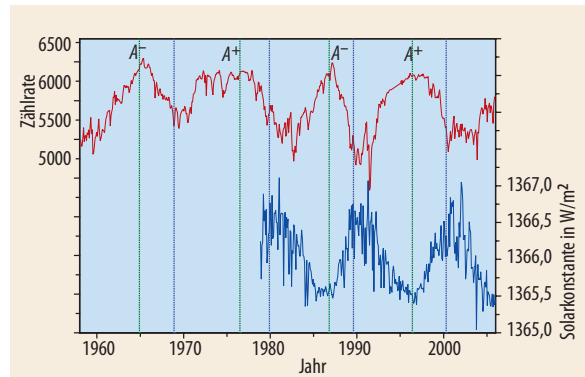


Abb. 1 In der Intensität der kosmischen Strahlung manifestiert sich der 22-Jahres-Zyklus der Sonnenaktivität (oben). Die mit einem Neutronenmonitor in Kiel gemessene Zählrate ist durch den typischen Wechsel von „flachen“ und „spitzen“ Maxima charakterisiert. Mit A⁺ und A⁻ sind die beiden Polaritäten des Sonnenmagnetfeldes bezeichnet. Die seit 1978 von weltraumgestützten Instrumenten ununterbrochen aufgezeichnete „Solarkonstante“ außerhalb der Erdatmosphäre variiert offensichtlich mit einer Periode von 11 Jahren (unten).

Atmosphäre einhergeht. Daneben oszilliert das Sonnenmagnetfeld mit einer Periode von 22 Jahren. Der Einfluss dieses Hale-Zyklus auf den Fluss der galaktischen kosmischen Strahlung wurde in den vergangenen ca. 50 Jahren eingehend untersucht (**Abb. 1**).

Elektromagnetische Strahlung der Sonne

Die elektromagnetische Strahlung der Sonne ist in guter Näherung eine Schwarzkörperstrahlung, die ihr Maximum im sichtbaren Licht bei ca. 550 nm hat. Der Strahlungsfluss der Sonne, der auf die Erdatmosphäre einfällt, beträgt rund 1367 W/m². Diese bolometrische „Solarkonstante“ variiert auf Zeitskalen des 11-Jahres-Zyklus bis wahrscheinlich hin zu Jahrhunderten nur im Promillebereich, wobei einzelne Wellenlängenintervalle um einige Prozent (UV, Infrarot) bis einige Größenordnungen (Röntgen) variieren können.

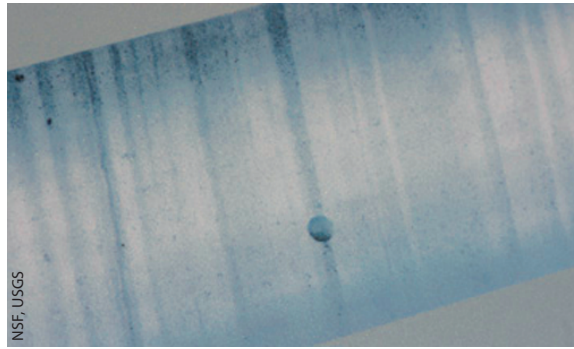
Ein höherer Strahlungsfluss führt in der Atmosphäre zu Ionisation und Erwärmung. Letztere zeigt sich am deutlichsten in der Thermosphäre, einer Atmosphärenschicht zwischen ca. 80 und 500 km Höhe, deren Temperatur im Intensitätsmaximum fast doppelt so hoch ist wie im Minimum. Diese Temperaturerhöhung ist mit einer Ausdehnung der Thermosphäre verbunden: In fester Höhe nimmt ihre Dichte zu, was langfristige Auswirkungen auf niedrige Satellitenbahnen hat. Da die Heizung durch Ionisation geschieht, steigt auch die Elektronendichte in der Ionosphäre mit der Sonnenaktivität an. Mit der erhöhten UV-Emission steigt außerdem die Produktion von Ozon in der Stratosphäre um einige Prozent. Diese chemischen Änderungen treiben die Dynamik der Atmosphäre und werden zurzeit im Rahmen des internationalen Projekts „Climate And Weather of the Sun-Earth System“ (CAWSES)¹⁾ untersucht.

Dabei wird auch analysiert, inwieweit sich die aktivitätsbedingte Variation des elektromagnetischen

1) Mehr Informationen finden sich auf der Homepage des zugehörigen DFG-Schwerpunktprogramms: www.iap-kborn.de/causes/index_d.htm



Abb. 2 Durch Bohrungen gewonnene Eiskerne (links), deren Schichtstruktur (rechts) in eine Zeitreihe übersetzt werden kann, werden auf ihren Gehalt an kosmogenen Isotopen unter-



Spektrums der Sonne tatsächlich auf das Erdklima auswirkt. Obwohl ein solcher Einfluss zunächst plausibel erscheint und mittlerweile allgemein angenommen wird, ist es noch nicht gelungen, eine plausible Prozesskette zu finden, die zu einer Klimaänderung führt. Nahezu unumstritten ist lediglich, dass sich die Sonnenaktivität im Erdklima widerspiegelt. Die physikalische Erklärung dafür ist aber weiterhin unklar. Das lässt insbesondere die Alternative der Einwirkung energiereicher Teilchen auf das Klima offen.

Energieriche Teilchen

Die Wechselwirkung von energiereichen Teilchen mit der Atmosphäre und auch technischen Einrichtungen wird durch Kernprozesse und Ionisation vermittelt. Die hauptsächlich in Sonnen-Flares erzeugten niederenergetischen Teilchen sind über Ionisationsprozesse für die Polarlichter verantwortlich, die bei starken Sonneneruptionen sogar bis in niedere Breiten sichtbar sind. Wir beschränken uns hier auf die hochenergetische Komponente, da deren Einfluss auf das Klima über die Wolkenbildung kontrovers diskutiert wird.

Die meisten hochenergetischen Teilchen sind in Beschleunigungsprozessen wie Supernova-Explosionen in der Milchstraße entstanden. Das dadurch vorliegende „mittlere“ Spektrum dieser so genannten galaktischen kosmischen Strahlung wird im Volumen der Heliosphäre durch die Plasmaturbulenz des Sonnenwindes und das dortige Magnetfeld beeinflusst. Während eines Aktivitätszyklusses der Sonne, der z. B. an der Sonnenfleckenzahl erkennbar ist, ändert sich auch der globale Charakter des Sonnenwindes von einem langsamen Ausfluss zu einem schnellen Strom oberhalb der Ekliptik. Zudem polt sich das Sonnenmagnetfeld um, das mit dem Sonnenwind durch die Heliosphäre transportiert wird. Die in der Transportgleichung enthaltenen magnetischen Driftterme sind ladungsabhängig und modifizieren somit, je nach Polarität des Sonnenmagnetfeldes, die Ausbreitung der kosmischen Strahlung. Zu den in diesem Absatz angesprochenen Themen siehe den Artikel von Heber et al. in diesem Heft.

sucht. Die Produktionsrate dieser Isotope hängt direkt vom kosmischen Strahlungsfluss und damit indirekt von der solaren Aktivität ab.

Beim Beschuss von Atomen in der Atmosphäre mit hochenergetischen Teilchen entstehen die so genannten kosmogenen Isotope. Dazu zählt z. B. ^{14}C , das entsteht, wenn ^{14}N ein thermisches Neutron einfängt, oder ^{10}Be als Spallationsprodukt des Sauerstoffes. Diese Isotope werden dann in Eisschichten und Sedimenten abgelagert und dienen so als wertvolle „kosmochrone“ Archive für die Intensität der Höhenstrahlung und damit auch der Sonnenaktivität (siehe unten). Sie lassen sich mit Klima-Archiven, wie Baumringen oder Lufteinschlüssen in Eisbohrkernen vergleichen (Abb. 2). Die Auswertung und Analyse dieser Archive ist ein komplizierter Prozess, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann. Es sei lediglich bemerkt, dass wegen der geringen Isotopenkonzentrationen die methodischen Anforderungen sehr hoch sind. Hinzu kommt, dass der Ablagerungsprozess auch lokalen Schwankungen unterworfen ist.

Diese Archive lassen sich dazu nutzen [5], die Sonnenaktivität über mehrere tausend Jahre zu rekonstruieren (Abb. 3). Es zeigt sich, dass die Aktivität, oder besser der Fluss von energiereichen Teilchen, nicht nur mit dem Sonnenzyklus variiert, sondern dass es auch Zeiten mit verschwindender Aktivität bzw. damit einhergehend hoher kosmischer Strahlungsflüsse gibt, z. B. das so genannte Maunder-Minimum zwischen 1645 und 1715. Während Zeiten niedriger Aktivität

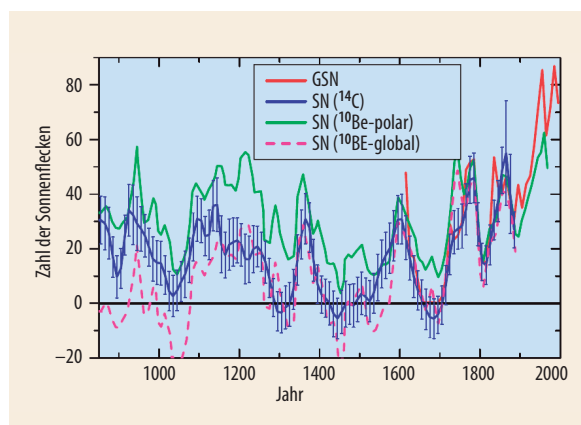


Abb. 3 Die Sonnenaktivität lässt sich aus verschiedenen Zeitreihen kosmogener Isotope rekonstruieren [5]. SN gibt die Zahl der Sonnenflecken an, GSN (group sunspot number) berücksichtigt auch die Fläche der Flecken und Beobachtungsmängel.

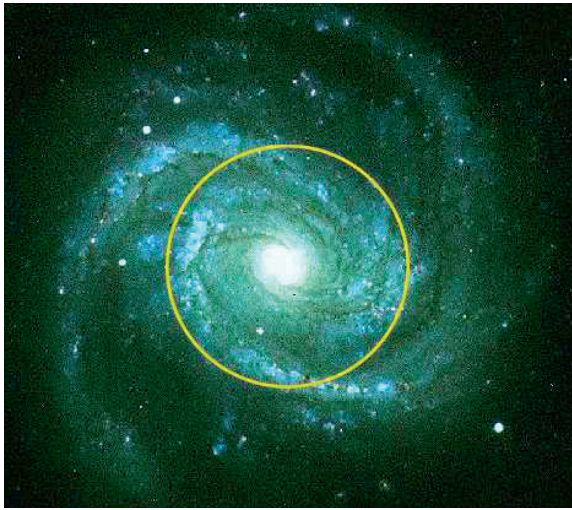


Abb. 4 Die Bewegung der Sonne um das Zentrum der Milchstraße ist hier anhand der Spiralgalaxie M100, eine unserer Milchstraße ähnliche Struktur, angedeutet.

ändert sich in der Regel auch das Klima, es wird kälter. Die Ursache dieses Effekts wird in letzter Zeit heftig diskutiert: Ist die elektromagnetische Strahlung der Sonne verantwortlich, oder produziert die kosmische Strahlung vermehrt Kondensationskeime zur Wolkenbildung? Beide Prozesse haben für einen direkten Effekt einen viel zu geringen Energieeintrag in die Atmosphäre, sodass verstärkende Sekundärprozesse das Klima beeinflussen müssen, wie z. B. die Änderung der Atmosphärenchemie, die die Dynamik der globalen Zirkulation beeinflussen kann, die erhöhte Ionisation und Gewittertätigkeit, oder durch Wolkenbildung, etc.

Die Forschung zu langfristigen Variationen und den entsprechenden physikalischen Prozessen steht gerade erst am Anfang und ist eines der spannendsten Themen in der Heliophysik und angrenzenden Gebieten. Die Frage nach den Einflüssen der solaren und der kosmischen Strahlung auf das Klima wird daher ebenfalls im internationalen CAUSES-Programm untersucht.

Werden deutlich längere Zeiträume betrachtet, etwa Millionen Jahre, dann muss auch die Bewegung der Sonne um das Zentrum der Milchstraße berücksichtigt

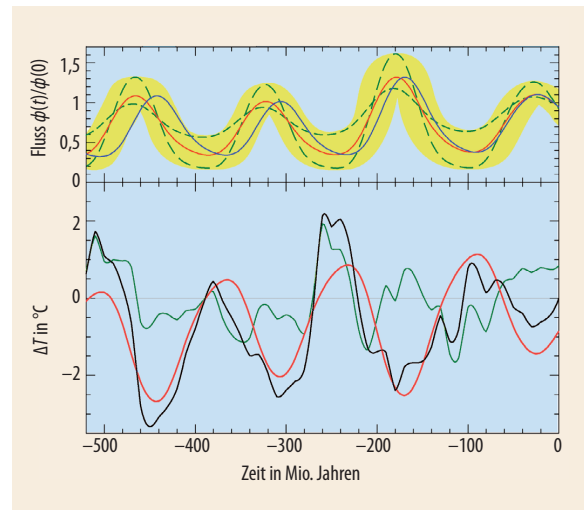


Abb. 5 Über einen Zeitraum von 500 Millionen Jahren hat die galaktische kosmische Strahlung aufgrund der beobachteten Spiralarmstruktur der Milchstraße variiert (oben, unterschiedliche Modellrechnungen). Aus dem besten Fit (rot) ergibt sich die unten ebenfalls rot dargestellte Änderung der Erdtemperatur, die verblüffend gut mit den aus Sauerstoffeinschlüssen (¹⁸O) in Muschelfossilien abgeleiteten Temperaturschwankungen der Meeresoberfläche (schwarz) übereinstimmt. In grün ist die Differenz wiedergegeben. (nach [6])

werden (Abb. 4). Dies führt einerseits zu einer Modulation der kosmischen Strahlung, da sich Änderungen der interstellaren Materie auf die Struktur der Heliosphäre auswirken. Andererseits gibt es Regionen innerhalb der Galaxie, in denen nach heutigem Kenntnisstand die Intensität und das Spektrum der kosmischen Strahlung von den heute gemessenen Werten abweichen. Zum Beispiel wird bei einem Durchgang durch einen galaktischen Spiralarm ein höherer kosmischer Strahlungsfluss erwartet, da dort auch die Rate von Supernova-Explosionen und damit kosmischen Beschleunigern höher ist.

Einen Hinweis auf eine solche interstellar-terrestrische Beziehung haben Shaviv und Veizer ([6], für eine ausführliche Diskussion siehe [7]) in einer kontrovers diskutierten Arbeit gegeben. Abb. 5 zeigt die zeitliche Variation des Flusses der galaktischen kosmischen

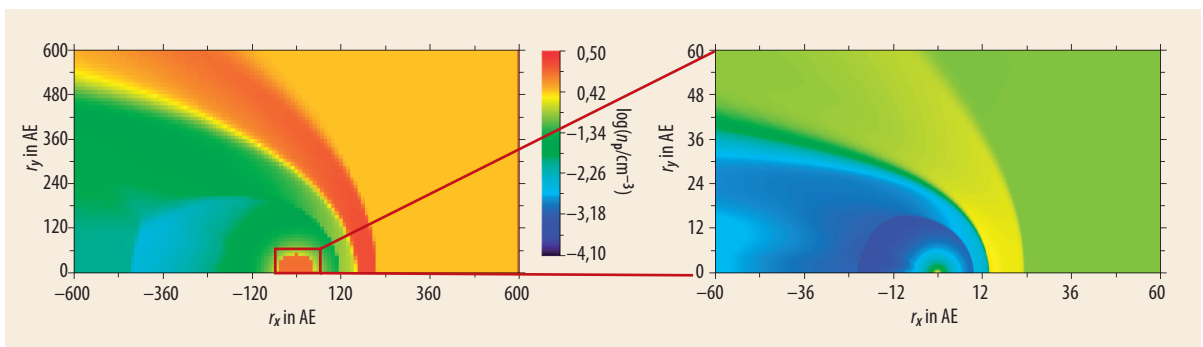


Abb. 6 Dichteverteilung in einem Modell einer Helio- bzw. Astrosphäre für zwei verschiedene Szenarien. Der Stern sitzt jeweils im Ursprung des Koordinatensystems. In dessen Ruhesystem strömt das interstellare Medium in negative r_x -Richtung. Die linke Heliosphäre entspricht dem heutigen Zustand; die rechte Astrosphäre simuliert einen Zustand mit einer aus negativer r_x -Richtung kommenden durchlaufenden Supernovafront.

Um die Größenverhältnisse der unterschiedlichen Astrosphären zu veranschaulichen, sind Linien zwischen korrespondierenden Skalen eingeführt. Durch die geänderten (Modulations-) Volumina werden auch die Flüsse der kosmischen Strahlung am Erdborbit um bis zu zwei Größenordnungen geändert (für eine ausführlichere Diskussion s. [7]). Eine Astronomische Einheit (AE) entspricht rund 150 Mio. km.

Strahlung und die Temperaturschwankungen über 500 Millionen Jahre. Die Ähnlichkeit zwischen den beiden phasenverschobenen Kurven ist verblüffend und wird im Rahmen des oben Diskutierten verständlich.

Die kosmischen Strahlungsflüsse wurden aus den Bestrahlungsaltern von Meteoriten abgeleitet und die Temperaturschwankungen aus geologischen Archiven, die a priori nichts miteinander zu tun haben. Die Ableitung der Variation des kosmischen Strahlungsflusses aus Meteoriten ist einer der Streitpunkte der gegenwärtigen Debatte. Ein weiterer ist die Rekonstruktionsmethode des Temperaturverlaufs aus fossilen Muscheln. Dennoch ist die gefundene Korrelation nicht nur besser als alle früher vorgeschlagenen, die auf der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre basieren, sondern zudem robust gegen Variationen verschiedener Input-Parameter.

Da die Ausbreitung der kosmischen Strahlung in der Heliosphäre auch von deren Struktur abhängt, die durch das umgebende variable interstellare Medium mitbestimmt wird, ist es notwendig, die Reaktion der Heliosphäre auf diesen Zeitskalen zu simulieren. **Abb. 6** zeigt die Heliosphäre für zwei unterschiedliche Zustände. Es ist offensichtlich, dass bei einer solchen Veränderung des Modulationsvolumens die entsprechenden kosmischen Strahlungsflüsse über Größenordnungen variieren können, was deren zeitlichen Verlauf in **Abb. 5** erklären kann. In diesen Modellen wurde allerdings bisher nicht berücksichtigt, dass in den Spiralarmen auch die Intensität der kosmischen Strahlung erhöht ist. Der Zusammenhang mit einer einhergehenden Klimavariation ist noch unklar und bedarf weiterer Untersuchungen. Eine ausführliche Diskussion ist in [7] zu finden.

Komplexes Klima

Welcher der beiden Kandidaten, kosmische Strahlung [7] oder elektromagnetische Strahlung [8], für den Klimaeffekt verantwortlich ist, ist eine der spannendsten Fragen in der Heliophysik, deren Beantwortung letztendlich ein interdisziplinäres Vorgehen erfordert [9]. Die relevanten physikalisch-chemischen Prozessketten sind bisher weder für den einen noch den anderen Kandidaten identifiziert. Immerhin haben erste Resultate mit einem kleineren Experiment am dänischen Institut für Weltraumphysik gezeigt, dass es durchaus Wechselwirkungen zwischen kosmischer Strahlung und der Atmosphäre bzw. Wolken geben kann. Diese Ergebnisse sollen mit dem größerem CLOUD-Expe-

riment am CERN überprüft werden, welches gerade (Ende 2006) begonnen wurde (siehe Infokasten „Instrumente“).

Wie auch immer diese Experimente ausgehen werden, das Klima der Erde ist viel zu komplex, als dass die heliophysikalischen Treiber durch lediglich einen physikalischen Prozess beschrieben werden können. In diesem Beitrag wurde deutlich gemacht, dass neben den bekannten planetar-terrestrischen Wechselwirkungen, auch die solar-terrestrischen Beziehungen einen Beitrag zum Klima leisten, und sogar die interstellar-terrestrischen Beziehungen auf Zeitskalen von Jahrtausenden bis hin zu Dekaden nicht vernachlässigt werden dürfen. Der zurzeit größte Klimaeffekt ist aber wohl internen, nämlich anthropogenen Ursprungs [10].

Literatur

- [1] A. Yeghikyan und H. Fahr, *Astron. Astrophys.* **425**, 1113 (2004)
- [2] P. Song, H. J. Singer und G. L. Siscoe (Hrsg.), *Space Weather, Geophysical Monograph Series 125*, American Geophysical Union (2001)
- [3] K. Scherer, H. Fichtner, B. Heber und U. Mall (Hrsg.), *Space Weather: The Physics Behind a Slogan*, Springer, Berlin (2005)
- [4] V. Bothmer und I. Daglis, *Space Weather*, Springer, Berlin (2006)
- [5] S. K. Solanki, I. G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler und J. Beer, *Nature* **431**, 1084 (2004)
- [6] N. Shaviv und J. Veizer, *GSA Today* **13**, 4 (2003)
- [7] K. Scherer et al., *Space Science Reviews*, DOI: 10.1007/s11214-006-9126-6
- [8] C. de Jager, *Space Science Reviews* **120**, 197 (2005)
- [9] H. Fichtner, K. Scherer und B. Heber, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **6**, 10811 (2006)
- [10] vgl. den aktuellen „Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change“, www.ipcc.ch

DIE AUTOREN

Klaus Scherer hat in Bonn Physik studiert und dort 1988 promoviert. Nach Aufenthalten in Polen und den USA ist er heute als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in Bochum tätig. Seit 2006 leitet er die Subkommission D1 „Heliosphere“ der COSPAR (Committee on Space Research).



Horst Fichtner hat ebenfalls in Bonn studiert und promoviert (1991). Nach Postdoc-Aufenthalten in Kanada, den USA und Bonn ging er an Uni Bochum, wo er heute nach seiner Habilitation (2000) als Wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig ist. Er ist seit 2003 Leiter des DPG-Fachverbandes Extraterrestrische Physik und Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Extraterrestrische Forschung (www.aef-ev.de), Klaus Scherer ist einer seiner Stellvertreter.

