

Unsichtbar und einflussreich – der Geodynamo

Forscher erkunden das Magnetfeld der Erde.
Die Phänomene, auf die sie dabei stoßen, reichen vom Wetter
im All bis zu den Strömungen der Meere.

Ein Beitrag aus dem GeoForschungsZentrum Potsdam

Menschliche Sinne können es zwar nicht wahrnehmen – aber das Magnetfeld der Erde ist von höchster Bedeutung für die moderne Zivilisation. Denn das vom Geodynamo erzeugte Feld schützt die Erde vor hochenergetischer Strahlung aus dem Weltall. Umgekehrt gilt: Wenn sich das geomagnetische Feld verändert, kann dies gefährliche Auswirkungen auf der Erde haben. Der Forschungssatellit CHAMP des GeoForschungsZentrums Potsdam registriert mit modernster Messtechnik solche Veränderungen.

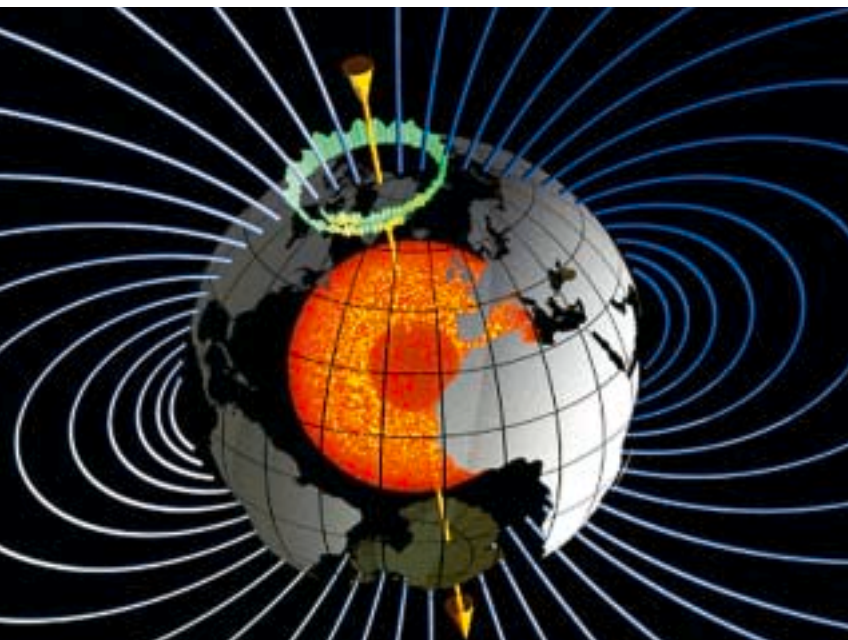
Albert Einstein soll 1905, kurz nachdem er seine spezielle Relativitätstheorie abgeschlossen hatte, den Ursprung des geomagnetischen Feldes als eines der wichtigsten noch ungelösten Probleme der Physik bezeichnet haben. Das ist verständlich, wenn man be-

denkt, dass damals der Aufbau der Erde noch weitgehend unbekannt war und damit die Voraussetzung fehlte, um sich eine Vorstellung von den physikalischen Prozessen zu machen, die das Magnetfeld erzeugen. Heute wissen wir, dass sich der Geodynamo im flüssigen Teil des Erdkerns befindet.

Er besteht im Wesentlichen aus flüssigen Metallen, die unter bestimmten Bedingungen ein sich selbst erhaltendes Magnetfeld erzeugen.

Wie der Geodynamo genau funktioniert, ist allerdings immer noch ein aktuelles Forschungsthema, denn längst nicht alle Fragen der Forscherinnen und Forscher sind schon aufgeklärt.

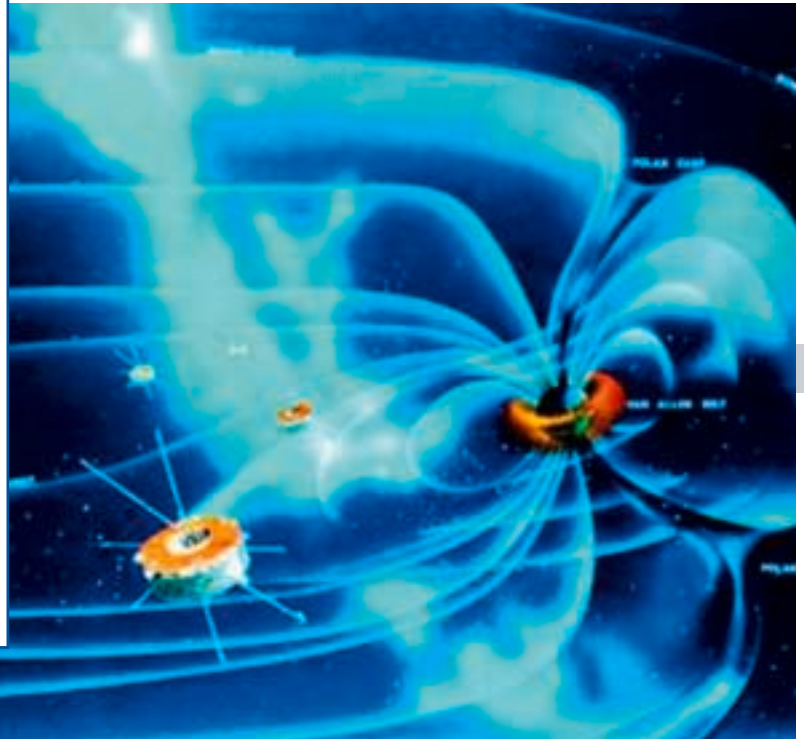
Gut zu erkennen auf dieser schematischen Darstellung: Der rote Erdkern und die Feldlinien des Erdmagnetfeldes. Der grüne Ring steht für ein Polarlicht. Solche Lichter entstehen durch starke Sonneneruptionen. Vor den unschönen Folgen des Weltraumwetters schützt das Erdmagnetfeld.



Die Magnetosphäre – ein Kokon um die Erde



Die Magnetosphäre umfasst den Raum, innerhalb dessen das Erdmagnetfeld wirkt. Die Form des geomagnetischen Feldes ähnelt in Erdnähe der eines Stabmagneten, der entlang der Drehachse ausgerichtet ist. Befände sich die Erde in einem Vakuum, würde das Magnetfeld beliebig weit in den Raum hinaus reichen. Durch den anströmenden Sonnenwind bekommt die Magnetosphäre eine kometenförmige Gestalt, zusammengedrückt auf der Tagseite und weit herausgezogen auf der Nachtseite. Es bildet sich dabei eine wohldefinierte Grenzschicht zwischen Erdmagnetfeld und Sonnenwind, die so genannte Magnetopause. An normalen Tagen ist diese Magnetopause undurchlässig für den Sonnenwind. Während magnetischer Stürme gelangen jedoch erhebliche Mengen des Sonnenwindplasmas bis in die Magnetosphäre, und es kommt zu den bekannten Störungen. Nimmt die Feldstärke weiterhin ab, schrumpft die Magnetosphäre. Eines Tages könnten sich unsere Telekommunikationssatelliten in etwa 36.000 Kilometern Höhe dann ungeschützt im Sonnenwind befinden. ■



Vom Satelliten registriert: Das Magnetfeld nimmt ab

Neue Erkenntnisse über das geomagnetische Feld hat der Forschungssatellit CHAMP des GeoForschungsZentrums Potsdam gebracht. Versehen mit empfindlichen Sensoren, die das magnetische Feld registrieren, umkreist er seit über drei Jahren mehr als 15 Mal pro Tag die Erde. Schon nach kurzer Zeit lieferte er den Forschern eine nahezu lückenlose Kartierung der magnetischen Feldverteilung.

Allerdings ist das Magnetfeld, das er misst, alles andere als konstant: In der geologischen Vergangenheit wurde die Erde schon mehrfach regelrecht umgepolt, wurden Nord- und Südpol komplett vertauscht. Durch CHAMP können die Wissenschaftler solche Prozesse jetzt mit neuester Messtechnik verfolgen. Dabei haben sie entdeckt: Der magnetische Nordpol hat sich wieder auf den Weg gemacht. Von Kanada aus wandert er mit einer Geschwindigkeit von circa 50 Kilometern pro Jahr in Richtung Sibirien. Generell haben Polwanderungen eine unangenehme Begleiterscheinung – die Magnetfeldstärke nimmt kontinuierlich ab. Auch dieses Phänomen zeigt sich bei den aktuellen Messungen wieder; sie verzeichnen eine rasante Abnahme des Magnetfeldes im Bereich des südlichen Atlantik. Und das ist keine Nebensache, denn dadurch reduziert sich auch die Abschirmwirkung gegen gefährliche Strahlung aus dem All, mit möglicherweise ernstesten Konsequenzen für unseren Lebensraum.

Leben im Wechselspiel der Kräfte

Das gemessene Magnetfeld ist keineswegs eine „einfache“ Größe, sondern die Summe von Beiträgen verschiedener Quellen. Eine anspruchsvolle Aufgabe für die Forscher ist es, diese Quellen auseinander zu halten. Ist die Zerlegung jedoch einmal gelungen, gewinnen sie wichtige Erkenntnisse über ganz verschiedene Phänomene, die vom Wechselspiel zwischen dem Magnetfeld der Erde und äußeren Einflüssen bestimmt sind.

Der menschliche Lebensraum befindet sich an der Schnittstelle zwischen den Auswirkungen der Prozesse im Erdinnern und den Einflüssen, die von außen auf die Erdoberfläche einwirken. In neuerer Zeit hat der Mensch seinen Lebensraum erheblich ausgeweitet. Mit Flugzeugen bewegt er sich bis

in zehn Kilometer Höhe. Die Satelliten, die aus dem täglichen Leben kaum noch wegzudenken sind, nutzen den Raum von mehreren 10.000 Kilometern über der Erde. Die Bedingungen, denen technische Systeme in diesen großen Höhen ausgesetzt sind, bezeichnet die Forschung als Weltraumwetter.

Im kosmischen Teilchenschauer

Am Weltraumwetter zeigt sich das Wechselspiel zwischen dem Magnetfeld der Erde und äußeren Einflüssen besonders deutlich. Die Einflüsse von außen sind im Wesentlichen geladene Teilchen aus dem Weltraum, die meist mit sehr hohen Geschwindigkeiten auf die Erde zufliegen. Zwei wichtige Formen dieser Plasmaströme sind zum einen von der Sonne abgestrahlte, gelegentlich sehr starke Sonnenwinde, zum anderen die allgegenwärtige kosmische Strahlung. Geschützt wird die Erde vor diesen Teilchenschauern durch ihr Magnetfeld, das sie vor den anfliegenden geladenen Teilchen abschirmt. Sie werden dadurch zum weitaus größten Teil um die Erde herumgeleitet.

Die Auswirkungen des Weltraumwetters auf den Lebensraum sind abhängig von der Stärke des schützenden Magnetfeldes, aber auch von der Intensität der einwirkenden Strahlung und ihrer Beschaffenheit. Schäden, die durch das Weltraumwetter entstehen können, betreffen eine Vielzahl von technischen Systemen. Einen ganz unmittelbaren Effekt hat beispielsweise das Auftreffen eines schnellen Teilchens auf ein elektronisches Bauelement in einem Satelliten, was in der Regel eine Fehlfunktion oder den Ausfall zur Folge hat. Durchfliegt ein Satellit eine Wolke hoher Ladungs-

trägerdichte, kommt es zur statischen Aufladung und zu anschließender Funkentladung, auch dies kann Störungen oder Schäden in der Elektronik hervorrufen.

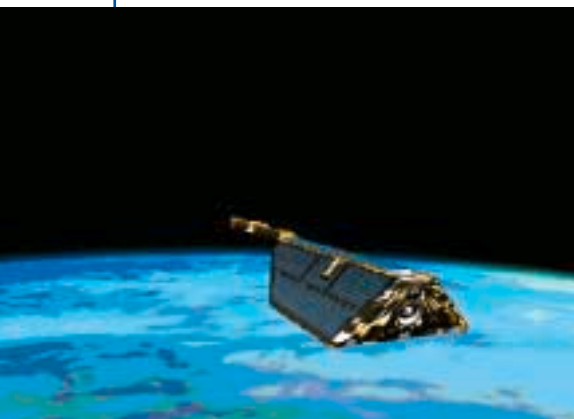
Aber nicht nur im All hat das Weltraumwetter spürbare Folgen, sondern teilweise auch am Boden. An Tagen mit starken Sonneneruptionen werden unvorstellbar große Massen geladenen Gases in den Weltraum geschleudert. Trifft eine solche Wolke die Erde, kommt es zu so genannten geomagnetischen Stürmen. Im Verlauf dieser Stürme entstehen die eindrucksvollen Polarlichter. Diese Lichter sind begleitet von mehreren Millionen Ampere starken elektrischen Strömen in der Ionosphäre. Als sekundärer Effekt werden auch Störströme in Überlandleitungen induziert. Mehrfach sind dadurch schon großräumige Stromausfälle ausgelöst worden.

Zwar können Forscher das Weltraumwetter nicht beeinflussen. Ihre Arbeit hilft jedoch, das Risiko, das vom Weltraumwetter ausgeht, genauer abzuschätzen. Dazu müssen sie beide Komponenten des Wechselspiels, das Magnetfeld und die Strahlung aus dem All, im Zusammenhang betrachten. Weil sich das Magnetfeld gegenwärtig beträchtlich verändert, brauchen sie insbesondere ein genaueres Verständnis der Vor-

gänge im geomagnetischen Feld, um bessere Vorhersagen über das Risikopotenzial für die kommenden Jahre machen zu können. Die Erkenntnisse, die sie dabei gewinnen, helfen ihnen auch, die technischen Systeme besser auf die Bedingungen abzustimmen, denen sie im All ausgesetzt sind.

GFZ

CHAMP – Mission zum Planeten Erde



Nicht nur Missionen zu fernen Planeten liefern der Forschung spannende neue Erkenntnisse. CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) zeigt, dass man auch „erdnah“ Aufregendes herausfinden kann. CHAMP hat eine Form bekommen, die es ihm erlaubt, nach seinem Start am 15. Juli 2000 für mehrere Jahre im niedrigen Umlauf zu bleiben, ohne abzustürzen. Diese Bahn und der Einsatz empfindlicher Instrumente ermöglichen bei einer Reihe von Messgrößen, zum Beispiel dem Magnetfeld, eine bisher nicht erreichte Auflösung.

Hauptziele der CHAMP-Mission sind die genaue Vermessung des Gravitations- und Magnetfeldes der Erde sowie die Sondierung atmosphärischer Parameter. ■



Der Ozean als Dynamo

Strömt Meerwasser durch das Erdmagnetfeld, so werden die positiven und die negativen Ionen der gelösten Salze durch die so genannten Lorentzkräfte in entgegengesetzte Richtungen abgelenkt. Es kommt zur Ladungstrennung, und es bauen sich elektrische Spannungen auf. Diese Spannungen verursachen Ströme in den relativ gut leitenden Sedimenten und Gesteinen des Meeresbodens. Es bilden sich globale Stromsysteme aus, welche bis in den Erdmantel hinab reichen. Diese elektrischen Ströme erzeugen ein sekundäres Magnetfeld, das in Satellitenhöhe zwar sehr schwach, etwa 10 ppm (parts per million) des geomagnetischen Feldes, aber mit CHAMP noch deutlich messbar ist. Durch den Vergleich mit Observatoriumsmessdaten können die ozeanischen Signale von anderen Variationen des Magnetfeldes abgetrennt und zur Kartierung von Ozeanströmungen genutzt werden. ■

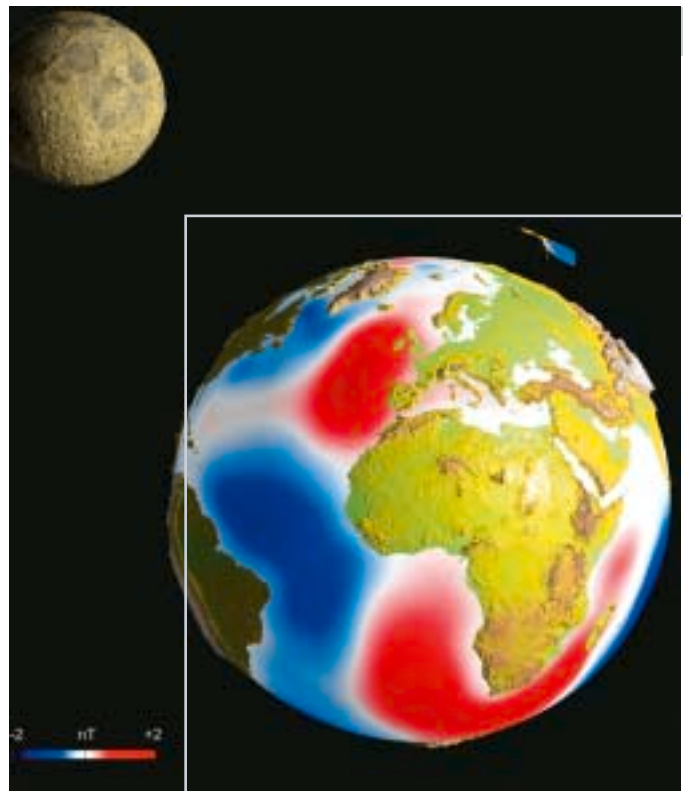
stimmen dabei erstaunlich genau mit den Messungen des Satelliten überein. Außerdem zeigen Modellrechnungen, dass sowohl El Niño/Southern Oscillation (ENSO)-Ereignisse im Pazifik als auch die Variabilität der Nordatlantischen Oszillation im Magnetfeld sichtbar sein sollten. Die Forscher sind daher zuversichtlich, dass ihnen die Magnetfeldmessungen mit CHAMP wichtige neue Informationen über Veränderungen der ozeanischen Zirkulation liefern werden.

Magnetische Signatur der Meeresströmung

Ein anderes wichtiges Wechselverhältnis ist das zwischen Magnetfeld und ozeanischer Zirkulation. Meeresströmungen haben einen großen Einfluss auf das Erdklima. Zum Beispiel sind die gemäßigten Temperaturen bei uns direkt auf den Golfstrom zurückzuführen, der warmes Oberflächenwasser aus den Tropen nach Europa führt.

Wie Untersuchungen an Eisbohrkernen zeigen, gab es in der Vergangenheit immer wieder plötzliche Veränderungen in den ozeanischen Zirkulationen, die durch Modellrechnungen nur schwer vorhersagbar sind. Deshalb ist die globale Beobachtung der Meeresströmungen so wichtig. Dazu nutzen Forscher aufwändige Messungen durch Bojen, Treibkörper und Schiffe. Und besonders wichtig sind für ihre Arbeit die Aufzeichnungen erdnaheer Satelliten. Doch wie kann ein Satellit aus dem All die Strömungsgeschwindigkeit in tausend Metern Tiefe überhaupt erkennen?

Ähnlich wie sich ein Fluss in der Mitte aufwölbt, verzerren auch Meeresströmungen die Meeresoberfläche. Durch zentimetergenaue Radarmessungen der Ozeanhöhe lässt sich deshalb indirekt auf Strömungsgeschwindigkeiten schließen. Eine vielversprechende neue Möglichkeit zur direkten Strömungsbestimmung ergibt sich durch Magnetfeldmessungen vom Satelliten CHAMP aus. Dabei wird nicht die Meeresoberfläche beobachtet. Vielmehr registriert der Satellit Veränderungen im Magnetfeld der Erde, die mittelbar durch ozeanische Zirkulation verursacht werden. Auch Meeresströmungen bewegen sich innerhalb des Erdmagnetfeldes. Meerwasser als guter elektrischer Leiter baut dabei elektrische Spannungen auf, die zu Strömen führen. Daraus entsteht ein sekundäres Magnetfeld, das trotz seines sehr schwachen Signals von CHAMP aus gemessen werden kann. In ersten Versuchen konnte eine solche magnetische Spur, ausgelöst von periodischen Gezeitenströmungen, erfolgreich in den Magnetfeldmessungen von CHAMP nachgewiesen werden. Vorausberechnungen



Diese Animation zeigt eine Momentaufnahme des in den Ozeanen durch Gezeitenströmungen induzierten Magnetfeldes, gemessen vom Satelliten CHAMP in 400 Kilometern Höhe. Wenn der Mond über Greenwich steht, verstärkt sich das Erdmagnetfeld in den roten Bereichen, in den blauen vermindert es sich.

Prof. Dr. Hermann Lühr
Dr. Stefan Maus

Sektion Edmagnetfeld
GeoForschungsZentrum Potsdam