

Stürme aus dem Weltraum

Weit reichender Einfluss der Sonne auf Mensch und Technik

In den nächsten Monaten wird die Sonnenaktivität ein Maximum erreichen. Die Auswirkungen werden vermutlich auch auf der Erde zu spüren sein. Man rechnet mit Stromausfällen, unterbrochenen Kommunikationsverbindungen und Störungen von Satelliten. Forscher wollen die Phase erhöhter Aktivität nutzen, um mehr über das «Weltraumwetter» in Erfahrung zu bringen. Ihr langfristiges Ziel ist es, verlässliche Wetterprognosen zu entwickeln.

Spe. Im April konnte man in unseren Breiten-graden Zeuge eines Naturschauspiels werden, das sonst nur in polaren Regionen zu beobachten ist. Ein «geomagnetischer Sturm» tauchte den Himmel in rotgrünes Licht. Das Spektakel könnte sich in den nächsten Monaten wiederholen. Denn der Anstoss für den magnetischen Sturm kam von der Sonne – und die strebt in ihrem elfjährigen Zyklus gerade einer besonders aktiven Phase entgegen. Das mag den Himmelsgucker begeistern. Weniger erfreut zeigen sich Energieversorger sowie Luft- und Raumfahrtunternehmen. Denn die Kehrseite der Medaille sind kollabierende Stromnetze, gestörte Funkverbindungen, ausser Kraft gesetzte Satelliten und eine erhöhte Strahlenbelastung bei Flügen über die erdmagnetischen Pole.

Beginn einer stürmischen Saison

Während man Hurrikans oder Tornados heute recht genau vorhersagen kann, kommen geomagnetische Stürme oft wie aus heiterem Himmel. Für Sicherheitsvorkehrungen bleibt da nicht mehr viel Zeit. Das soll sich nun ändern. Mit einer Armada von Sonnen- und Erdbeobachtungssatelliten möchten Forscher in den nächsten Jahren herausfinden, unter welchen Bedingungen sich im irdischen Weltraum schlechtes «Wetter» zusammenbraut. Der Zeitraum für solche Untersuchungen ist günstig gewählt. Denn wegen des nahenden Aktivitätsmaximums der Sonne stehen wir am Anfang einer stürmischen Saison.

Dass die Sonne einen Einfluss auf das irdische Geschehen ausübt, ist unverkennbar. Ohne die wärmende Sonnenstrahlung gäbe es kein Leben auf der Erde. Doch das Sonnenlicht ist nicht die einzige Form von Energie, die den weiten Weg zur Erde überwindet. So bläst von der Sonne ein stetiger Wind von Teilchen. Bei Windgeschwindigkeiten von 400 Kilometern in der Sekunde brauchen die Elektronen und Protonen rund vier Tage, um die 150 Millionen Kilometer zwischen Sonne und Erde zurückzulegen. Trifft der Sonnenwind in einer Höhe von 60 000 Kilometern auf den magnetischen Schutzschild der Erde, kommt es zu komplizierten Prozessen, die bis heute erst teilweise verstanden werden. Zum einen wird die Magnetosphäre durch den Sonnenwind verzerrt und bildet auf der Nachtseite der Erde einen kometenhaften Schweif aus. Zum anderen wird der Sonnenwind grösstenteils um die Erde herumgelenkt. Nur in polaren Regionen dringen Teilchen des Sonnenwindes bis zur Ionosphäre, der obersten Schicht der irdischen Atmosphäre, vor.

Dieses komplizierte Wechselspiel zwischen Sonnenwind, Magnetosphäre und Ionosphäre kann durch eruptive Prozesse auf der Sonne gestört werden. So kommt es in der Sonnenatmosphäre immer wieder zu kurzzeitigen, aber heftigen Helligkeitsausbrüchen. Bei diesen Flares nimmt die Intensität der solaren UV- und Röntgenstrahlung sprunghaft zu. Gleichzeitig werden Elektronen und andere Teilchen auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigt. Für Astronauten, die sich ausserhalb ihres Raumschiffs aufhalten, kann ein Flare tödlich sein. Und auch Satelliten bekommt der erhöhte Teilchenfluss und die intensive elektromagnetische Strahlung schlecht. Mögliche Folgen sind gestörte Kommunikationsverbindungen, in Mitleidenschaft ge-

zogene Sonnensegel, der Ausfall von elektronischen Komponenten und die phantomhafte Änderung von gespeicherten Informationen.

Ein weiteres Phänomen sind koronale Massenausbrüche. Bei diesen Ausbrüchen werden Milliarden von Tonnen solaren Materials in den Weltraum geschleudert. Dabei wird ein Energieäquivalent von bis zu einer Milliarde Wasserstoffbomben freigesetzt. Zusammengehalten durch starke Magnetfelder, kann die Materie Geschwindigkeiten von 1500 Kilometern in der Sekunde erreichen. Damit breitet sie sich schneller aus als die Teilchen des Sonnenwinds. Ähnlich wie bei einem die Schallmauer durchbrechenden Flugzeug bildet sich im Sonnenwind eine Druckwelle aus, die das vor ihr liegende Sonnenwindplasma verdichtet. Im Schlepptau dieser Druckwelle rasen starke Magnetfelder auf die Erde zu.

Trifft diese Druckwelle samt ihrem Gefolge auf die Erde, gerät das delikate Gleichgewicht zwischen Sonnenwind, Magnetosphäre und Ionosphäre durcheinander, und es kann zu Polarlichtern und geomagnetischen Stürmen kommen. Die Auswirkungen dieser Stürme sind unter Umständen auch in unseren Breiten zu spüren. So kann das gestörte Magnetfeld starke Ströme in Hochspannungsleitungen oder Telekommunikationskabeln induzieren. Das führt zu Spannungsschwankungen, die sich mit wachsender Entfernung aufschaukeln können.

Dass die Gefahren des Weltraumwetters ernst zu nehmen sind, beweisen Vorkommnisse während des letzten Aktivitätsmaximums der Sonne. Im März 1989 zerstörten die von einem heftigen geomagnetischen Sturm induzierten Ströme einen Transformator in einem Kernkraftwerk in New Jersey, USA. In der kanadischen Provinz Quebec legte der gleiche Sturm das gesamte Stromnetz lahm. Millionen von Menschen waren stundenlang ohne Strom, und es entstanden Reparaturkosten von über einer Milliarde Dollar. Auch Satelliten sind erwiesenermassen schon schlechten Wetterbedingungen zum Opfer gefallen.

Sonnenflecken als Warnzeichen

Eine Vorhersage von geomagnetischen Stürmen beginnt naturgemäss beim Auslöser dieser Ereignisse, also bei der Sonne. Mit boden- und weltraumgestützten Teleskopen verfolgen Forscher, wo sich auf der Sonne Gruppen von Sonnenflecken bilden. Denn in diesen Regionen ballt sich die Energie zusammen, die sich von Zeit zu Zeit in Flares oder koronalen Massenausbrüchen entlädt. Ob und wann eine solche Entladung stattfindet, kann man bis heute nicht vorhersagen. Deshalb ist man bemüht, die Warnzeichen möglichst früh zu erkennen. Hier sind in den letzten Monaten wichtige Fortschritte erzielt worden. Denn dank dem Sonnen- und Heliosphären-Observatorium «Soho» sind Forscher heute in der Lage, einen Blick hinter die Sonne zu werfen.

So hat man festgestellt, dass sich Sonnenflecken auf der erdabgewandten Seite der Sonne in der dünnen Wasserstoffwolke spiegeln, von der die Sonne umströmt wird. Bei einer anderen Methode macht man sich zunutze, dass sich Sonnenflecken auf das mechanische Schwingungsverhalten der Sonne auswirken. Dank diesen Methoden kann man Sonnenflecken erahnen, bevor sie am Rand der Sonne auftauchen. Da die Sonne 27

Tage für eine Umdrehung braucht, erhöht sich die Vorwarnzeit theoretisch von einer auf zwei bis drei Wochen. Allerdings müssen beide Methoden noch verbessert werden.

«Soho» ist auch zur Stelle, wenn es tatsächlich zu einem Flare oder zu einem koronalen Massenausbruch kommt. Aus den Beobachtungsdaten lässt sich beispielsweise abschätzen, ob ein Massenausbruch auf die Erde gerichtet ist, welche Intensität hinter der Explosion steckt und mit welcher Geschwindigkeit sich die Materie von der Sonne wegbewegt. Letzteres ist wichtig, wenn man die Ankunftszeit der ausgeworfenen Materie auf der Erde vorhersagen will. Je nach Geschwindigkeit der Materie schwankt diese zwischen 2 und 5 Tagen.

Für eine genaue Prognose reicht es allerdings nicht, die Anfangsgeschwindigkeit der ausgeworfenen Masse zu kennen. Durch die Wechselwirkung mit dem Sonnenwind kann die Materie auf ihrem langen Weg zur Erde sowohl beschleunigt als auch abgebremst werden. Erst kürzlich gelang es Forschern der Catholic University of America in Washington und dem Goddard Space Flight Center der Nasa, ein verbessertes Modell dieser Wechselwirkung zu entwickeln. Um die Parameter dieses Modells festzulegen, zogen die Forscher Messungen von «Soho» und anderen Satelliten heran. Kennt man die Anfangsgeschwindigkeit eines koronalen Massenausbruchs, sollte es in Zukunft möglich sein, seine Ankunftszeit auf 12 Stunden genau vorherzusagen.

Die «Cluster II»-Mission

Über die Folgen, die eine auf die Erde zurasende Materiewolke hat, ist damit noch nichts gesagt. Denn selbst identische Störungen aus dem Weltraum können auf der Erde höchst unterschiedliche Auswirkungen haben. Viel hängt davon ab, in welchem Zustand sich die Ionosphäre und die Magnetosphäre der Erde momentan befinden. Hier soll die «Cluster II»-Mission, ein Gemeinschaftsprojekt von ESA und Nasa, neue Erkenntnisse liefern. Am 15. Juli sollen die ersten zwei von insgesamt vier Satelliten in den irdischen Weltraum geschossen werden. Die anderen beiden werden einen Monat später folgen. Zusammen soll das in Formation fliegende Satelliten-Quartett die Magnetosphäre im Detail vermessen. Vor allem geht es den Forschern darum, zeitliche Änderungen von physikalischen Grössen wie dem Teilchenfluss oder dem Magnetfeld von räumlichen Änderungen zu unterscheiden. Hierfür benötigt man mehrere Satelliten.

Das besondere Augenmerk der «Cluster II»-Mission gilt den Vorgängen an der Grenzschicht zwischen Sonnenwind und Magnetosphäre sowie dem Wechselspiel zwischen der sonnenab- und der sonnenzugewandten Seite der Magnetosphäre. Den vier «Cluster»-Satelliten stehen weitere Satelliten zur Seite, die spezielle Aspekte des Energietransfers von der Sonne zur Erde untersuchen. So fliegt der amerikanische «Wind»-Satellit seit 1994 im Sonnenwind und misst dort Magnetfelder und den Fluss von energetischen Teilchen. Der im Jahr 1996 gestartete «Polar»-Satellit erkundet vor allem die Region über den Polen. Für Untersuchungen des lang gezogenen Schweifs der Magnetosphäre steht seit 1992 der japanische «Geotail»-Satellit zur Verfügung. Und

seit einigen Monaten kann man mit dem amerikanischen «Image»-Satelliten die Teilchenströme während eines geomagnetischen Sturms messen und im Fünfminutentakt Schnapsschüsse von Polarlichtern machen.

Gestützt auf Satellitendaten sowie auf Messungen von Bodenstationen veröffentlicht das Space Environment Center der National Oceanic and Atmospheric Administration in Boulder, Colorado, regelmässige Berichte über das gegenwärtige und das zukünftige Weltraumwetter.* Diese Wetterberichte dürfen allerdings nicht dar-

über hinwegtäuschen, dass die Vorhersage des Weltraumwetters noch in den Kinderschuhen steckt. So hat man in den letzten Jahren eher eine Art «Nachhersage» betrieben, also anhand von Satellitendaten die Kette von Ereignissen nach einem Flare oder einem koronalen Massenausbruch rekonstruiert. Diese nachträglichen Untersuchungen dienen vor allem der Verbesserung der Modelle, mit denen man die Magnetosphäre, die Ionosphäre sowie die Sonne samt ihrer Heliosphäre zu beschreiben versucht.

Selbst verbesserte Modelle helfen aber wenig,

wenn der Input fehlt. Eine Hand voll Satelliten reicht bei weitem nicht aus, um jene Daten über die Sonne und das Umfeld der Erde zu erfassen, die für eine präzise Vorhersage des Weltraumwetters nötig wären. Was man braucht, ist ein ähnlich dichtes Netz von Beobachtungsstationen, wie es heute zur Vorhersage des gewöhnlichen Wetters zur Verfügung steht. Experten räumen deshalb bereitwillig ein, dass sich die Weltraumwetterkunde heute auf dem gleichen Stand befindet wie die Meteorologie vor 50 Jahren.

* www.sec.noaa.gov