

Was ist Weltraumwetter ?

Am besten läßt sich das Weltraumwetter im Vergleich zum normalen Wetter auf der Erde erläutern (Abb. 1, links). Unser irdisches Wetter wird im wesentlichen durch die Wärmestrahlung der Sonne angetrieben. Diese Strahlung durchquert die verschiedenen Bereiche des Weltraums praktisch ohne Beeinflussung. Erst in den untersten 10 km der Erdatmosphäre, der Troposphäre, wird ein Teil davon durch Wasserdampf absorbiert. Dadurch erwärmt sich dieser Bereich der Atmosphäre. Da die Erwärmung räumlich unterschiedlich ist (viel am Äquator, wenig an den Polen), und zeitlich variabel (tagsüber viel, nachts nichts), bilden sich Zonen verschiedenen Luftdrucks aus, die letztlich zusammen mit der Erdrotation zu allen Wetterphänomenen, wie Winden, Wolken, Gewitter, Regen und Schnee führen.

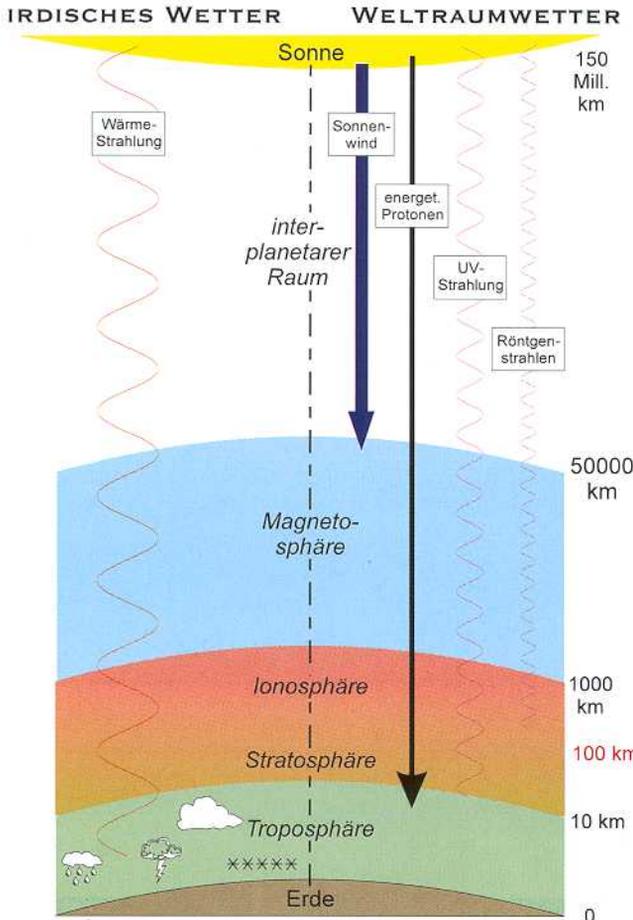


Abb. 1 Unterschied zwischen irdischem und Weltraumwetter. Erklärung im Text

Die Sonne emittiert aber noch andere Strahlungsarten. Neben der Ultraviolett- und der Röntgenstrahlung (beides Wellenstrahlen), gehören dazu auch noch der Sonnenwind und gelegentlich energiereiche Teilchen. Diese Strahlung (Abb. 1, rechts) beeinflusst verschiedene Bereiche des Weltraums: Die Röntgenstrahlung wird in der Ionosphäre absorbiert; der Hauptanteil der Ultraviolettstrahlung gelangt bis zur Ozonschicht in der Stratosphäre, der Sonnenwind beeinflusst direkt nur die Magnetosphäre, und die energiereichen Teilchen bleiben überwiegend in der Stratosphäre stecken. Die Erscheinungen und Veränderungen, die diese Strahlungen im Weltraum auslösen, bezeichnet man als Weltraumwetter.

Sonnenwind - Sonnensturm - Magnetsturm

Der Sonnenwind ist ein Strom elektrisch geladener Teilchen, der ständig von der äußeren Atmosphäre der Sonne, der Korona, abdampft. Er bläst im Normalfall mit einer Geschwindigkeit von ca. 400 km/s und besteht überwiegend aus Protonen und Elektronen (man nennt dieses Gemisch Plasma). Die Sonnenwindteilchen brauchen für die 150 Millionen Kilometer lange Strecke von der Sonne zur Erde ca. 4 Tage. In Erdnähe spürt dieser Wind als erstes das Magnetfeld der Erde. Die Magnetosphäre, d.h. der Bereich, der vom Erdmagnetfeld erfüllt ist, bildet für den Sonnenwind ein Hindernis, das er umströmt (Abb. 2).

Dieses Hindernis ist allerdings nicht starr. Ohne Sonnenwind wäre die Magnetosphäre ein symmetrisches Gebilde, wie wir es von den Magnetfeldlinien eines Stabmagneten kennen. Der Sonnenwind preßt die Magnetfeldlinien vor der Erde zusammen (auf ca 50000 km) und zieht sie hinter der Erde zu einem mehrere 100000 km langen Schweif aus. Beim Vorbeiströmen wird durch einen Dynamoeffekt in der Magnetosphäre ein kompliziertes System von Strömen induziert. Diese Ströme fließen in der Nähe der Pole auch durch die Ionosphäre in einer Höhe von etwa 120 km über dem Erdboden. -

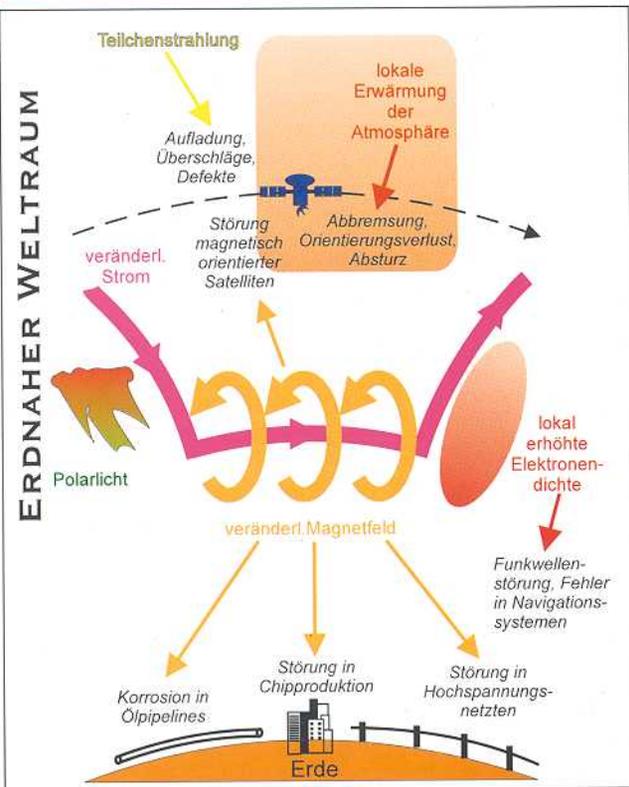


Abb. 4 Auswirkungen des Weltraumwetters auf technische Systeme. Erklärung im Text.

Die elektrischen Ströme von bis zu 1 Million Ampere, die während eines Magnetsturms in und durch die Ionosphäre fließen, erzeugen ein Magnetfeld. Da sie zeitlich veränderlich sind, also eine Art unregelmäßigen Wechselstrom darstellen, sind auch diese Magnetfelder variabel. Sie lassen zum Beispiel eine Kompaßnadel auf der Erde zittern, wovon übrigens die Bezeichnung Magnetsturm herrührt (A. v. Humboldt). Die veränderlichen Magnetfelder können in langen Überlandleitungen Spannungsspitzen induzieren, die die Netzregulierung durcheinanderbringen und zu Sicherheitsabschaltung führen können oder sogar Transformatoren zerstören. Bei einem schweren Magnetsturm im März 1989 fiel auf diese Weise das Stromnetz der gesamten Provinz Quebec in Kanada aus, sechs Millionen Einwohner waren neun Stunden ohne Strom! Elektrische Ströme werden bei Magnetstürmen auch in nördlich gelegenen (Alaska) Ölpipelines induziert, was zu vorzeitiger Korrosion der Rohre führt. Induzierte Ströme stören auch bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen (z.B. Rechnerchips) und verursachen Fehler und Produktionsausfälle.

Die Teilchen, die aus der Magnetosphäre in die Ionosphäre eindringen, erhöhen lokal die Elektronendichte, besonders in hohen geographischen Breiten. Das stört oder unterbricht die Funkwellenausbreitung, auch die Kommunikation mit Satelliten.

ten. Gleichzeitig führen die erhöhten Elektronendichten zu Fehlern in Navigationssystemen mit unter Umständen schwerwiegenden Folgen (Kollisionen von Schiffen oder Flugzeugen).

Besonders gefährdet sind künstliche Satelliten während turbulentem Weltraumwetters. Die oben erwähnten starken elektrischen Ströme in der Ionosphäre heizen die Atmosphäre auf wie der Netzstrom einen elektrischen Heizofen. Die Leistung dieses atmosphärischen Ofens beträgt oft mehrere Milliarden Watt. Durch die Aufheizung dehnt sich die Atmosphäre aus. Satelliten gelangen dadurch in Zonen erhöhter Luftdichte und werden demzufolge auf ihrer Bahn gebremst, verlieren ihre Orientierung oder können sogar abstürzen. Ferner kann die erwähnte Teilchenstrahlung so intensiv sein, daß sie die Oberfläche eines Satelliten elektrisch auflädt, was dann zu Überschlüssen führt. Dadurch können Defekte auftreten oder die Funktionen des Satelliten können total ausfallen; letzteres ist in der Vergangenheit mehrfach passiert. Die variierenden Magnetfelder können überdies die Orientierung von magnetisch stabilisierten Satelliten stören. Wenn man bedenkt, wie stark unsere Zivilisation bereits von Satelliten abhängt (Telefon, Fernsehen, Datenübertragung, Navigation, Wettervorhersage) kann man sich leicht vorstellen, daß Ausfälle hier zu erheblichen volkswirtschaftlichen Schäden und Unglücken führen können.

Auswirkungen auf biologische Systeme

Nicht zu vernachlässigen sind Einflüsse des Weltraumwetters auf biologische Systeme (Abb. 5). Besonders gefährdet sind hier Astronauten, die wegen der Gewichtsbeschränkung in Raumfahrzeugen kaum wirksam gegen die durchdringenden Protonen abgeschirmt werden können. Bei starken Flares können lebensbedrohende Strahlendosen aufgenommen werden. Auch in Flugzeugen, die über die Pole fliegen, sind Piloten und Passagiere gefährdet, wenn auch in diesen Höhen die Strahlendosen niedriger sind als im Weltraum. Besonders energiereiche Protonen können auch den Erdboden erreichen. Allerdings hat sich das Leben auf der Erde im Laufe der Evolution an derartige Teilchenschauer gewöhnt. Untersuchungen in Rußland legen allerdings nahe, daß empfindliche Menschen oder Kranke diese Effekte (unter Umständen, auch die Auswirkungen von

Die bisher beschriebenen Vorgänge kennzeichnen das ruhige Weltraumwetter.

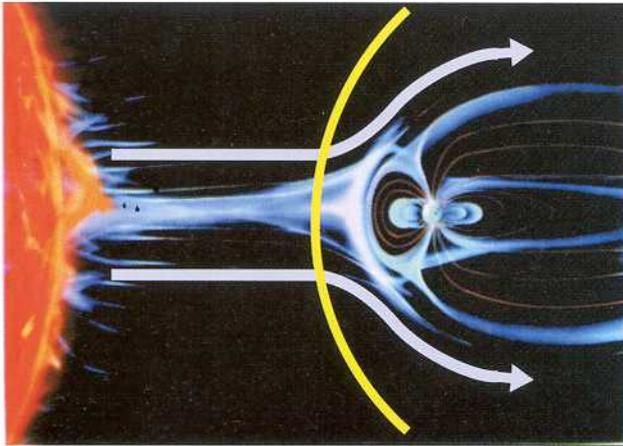


Abb 2. Der Sonnenwind umströmt die Magnetosphäre. Die Erde liegt als kleine blaue Kugel in ihrem vorderen Teil. Vor der Stoßwelle (gelb) fließt der Sonnenwind mit Überschall-, dahinter mit Unterschallgeschwindigkeit

Gelegentlich kommt es auf der Sonne aber zu explosiven Prozessen. Bei einem sogenannten koronalen Massenauswurf wird aus der Sonnenkorona eine riesige Plasmawolke ausgestoßen (Abb. 3). Ihre Gesamtmasse kann mehr als 10 Milliarden Tonnen betragen (entspricht der Masse von etwa 100000 Flugzeugträgern). Die Plasmawolke kann mit Geschwindigkeiten von über 1000 km/s in den Weltraum hinausrasen und den langsameren, vor ihr fließenden Sonnenwind komprimieren. Dabei entsteht an der Grenzfläche eine Schockfront.

Man kann diese anschaulich als eine starke Bö im Sonnenwind bezeichnen. Erreicht die Schockfront die Magnetosphäre, so wird diese stark deformiert und 'durchgeschüttelt'. Man kann sich die Magnetfeldlinien der Magnetosphäre als Gitterstäbe vorstellen, an denen die Sonnenwindböen rütteln. Durch das Zusammendrücken der Magnetosphäre werden auf komplizierte Weise Teilchen in die Erdatmosphäre gepreßt. Dort erzeugen sie in der Nähe der Pole das Polarlicht und erhöhen den Ionisationsgrad der Ionosphäre. Ferner werden die oben erwähnten Ströme in der Magnetosphäre erheblich verstärkt. - Man spricht dann von einem magnetischen Sturm.

Sonnenflares

Während des ruhigen Weltraumwetters sind die Intensitäten der Röntgenstrahlung und der energiereichen Teilchen von der Sonne sehr gering. Anders wird das während sogenannter Flares, die ebenfalls eruptive Prozesse auf der Sonne darstel-

len. Sie machen sich optisch durch einen hellen Lichtblitz auf der Sonne bemerkbar, gleichzeitig werden die Intensitäten der Röntgenstrahlen und der energiereichen Protonen oft um mehr als das Tausendfache erhöht. Während erstere in der Ionosphäre absorbiert werden, wirken letztere wie eine radioaktive Strahlung, die sehr durchdringend ist und tief in die Erdatmosphäre eindringen kann (vgl. Abb. 1, rechts). Flares treten in sehr unterschiedlichen Stärken auf, daher sind die Intensitäten dieser Strahlung auch sehr variabel. Besonders starke Flares ereignen sich in den Jahren um das Sonnenfleckenmaximum. Die Sonne durchläuft einen Aktivitätszyklus von etwa 11 Jahren, den man durch die Zahl der Sonnenflecken kennzeichnet. Das nächste Maximum wird für das Jahr 2001 erwartet.

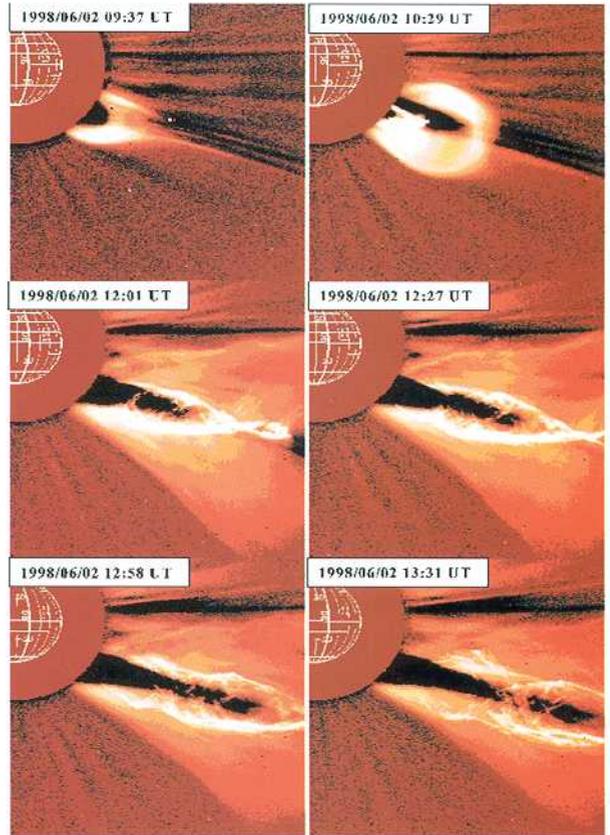


Abb. 3 Koronaler Massenauswurf auf der Sonne, aufgenommen mit dem Koronagraphen LASCO auf der SOHO Raumsonde. Die Sonnenscheibe ist durch eine Blende (oben links) verdeckt, um eine Überstrahlung zu vermeiden.

Auswirkungen des Weltraumwetters

Während das ruhige Weltraumwetter keine spektakulären Auswirkungen hat, stellen die ungewöhnlichen, turbulenten Weltraumwetterlagen ein Problem dar, besonders für technische Systeme. Einige der Auswirkungen sind in Abb. 4 veranschaulicht.

Magnetstürmen) spüren.

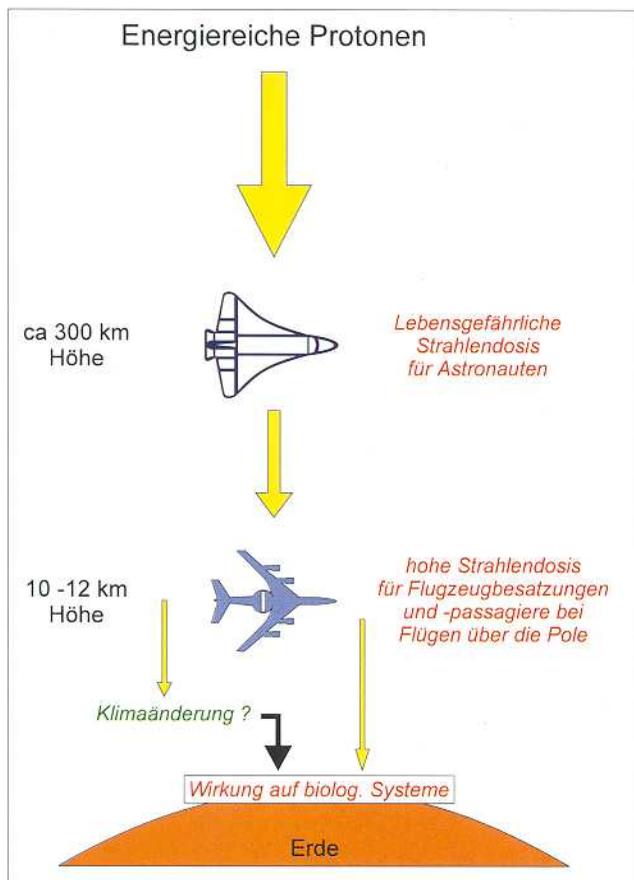


Abb. 5 Auswirkungen des Weltraumwetters auf biologische Systeme

Es gibt ferner Hinweise, daß energiereiche Teilchen auch langfristige Klimaänderungen auslösen können. Diese würden dann einen indirekten Einfluß auf biologische Systeme ausüben.

Andere kosmische Einflüsse

Bisher war nur die Sonne als Verursacher des Weltraumwetters betrachtet worden. Energierreiche Teilchen tragen aber auch in Form der kosmischen Strahlung zum Weltraumwetter bei. Diese Strahlung, die aus den Tiefen des Weltraums kommt, scheint in den letzten Jahrtausenden ziemlich konstant gewesen zu sein. Eine starke Erhöhung würde sich allerdings bei einer Supernova-Explosion in 'Erdnähe' (innerhalb einer Entfernung von ca. 50 Lichtjahren) bemerkbar machen. Auch wird bei diesen kosmischen Katastrophen Röntgen- und Gammastrahlung sehr hoher Intensität emittiert, die auf der Erde u. a. die Ozonschicht abbauen und Strahlenschäden verursachen können. Derartige 'nahe'

Supernova-Explosionen treten statistisch gesehen allerdings nur etwa alle Milliarden Jahre auf.

Vorhersage und Erforschung

Ein wirksamer Schutz vor den negativen Auswirkungen des Weltraumwetters ist technisch schwierig und in vielen Fällen unmöglich. Dennoch ist eine Vorhersage sehr wünschenswert, bedenkt man die Vielzahl der Schäden, die eintreten können. Weltweit wird daher in vielen Forschungsinstituten an Vorhersagemöglichkeiten gearbeitet. Voraussetzung dafür ist, daß man die Grundlagen des Weltraumwetters versteht, vor allem auch das Zustandekommen der explosiven Vorgänge auf der Sonne. Das Max-Planck-Institut für Aeronomie steht bei diesen Forschungen mit an vorderster Front. Die wissenschaftlichen Untersuchungen umfassen:

- die Beobachtung der Sonne mit Koronagraph (LASCO) und Ultraviolett spektrometer (SUMER) auf der Raumsonde SOHO sowie vom Erdboden aus,
- die Messung der Eigenschaften des Sonnenwindes (u.a. Geschwindigkeit, Richtung, Zusammensetzung) von verschiedenen Raumsonden aus (HELIOS, ULYSSES, SOHO, CASSINI)
- die Erfassung der Teilchen und Ströme in der Magnetosphäre mit Teilchenanalytoren auf verschiedenen Satelliten (GEOS, FREJA, GEOTAIL, WIND, POLAR)
- Das Studium der Auswirkungen des Weltraumwetters in der Ionosphäre mit bodengebundenen Radarsystemen (EISCAT, STARE, COSCAT) und optischen Geräten (Luftleuchten, Polarlicht, Fabry-Perot Interferometer)

Es wird also die gesamte Kette der sogenannten solar-terrestrischen Beziehungen erforscht, wobei die dazu notwendigen Meßinstrumente meistens im Institut entwickelt und gebaut werden.

Kristian Schlegel

Internet Seiten über Weltraumwetter

<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/frontpage.html>
<http://www.nas.edu/ssb/elements.html>
<http://www.sel.noaa.gov/today.html>
<http://geneva.crew.umich.edu/UARC/Outreach/space-weather-frame.htm>