

# Hintergrundwissen zur Sonne



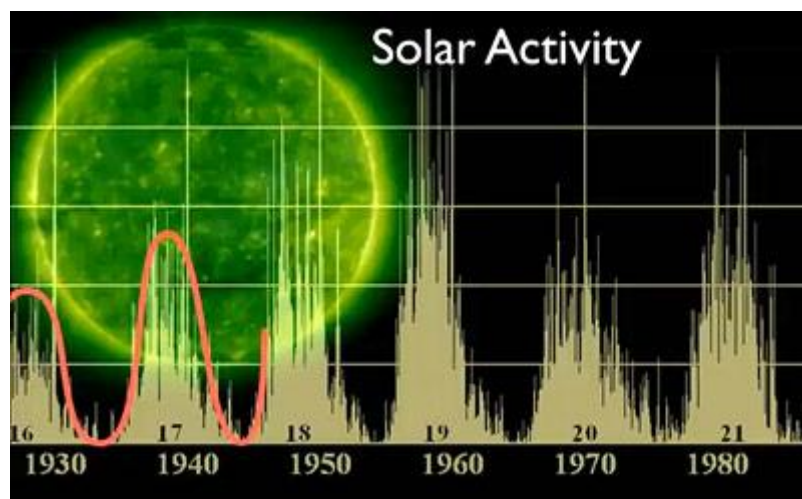
*Koronarer Massenauswurf: Heißes Plasma wird weit ins Weltall hinaus geschleudert  
© NASA*

*Die Sonne ist unberechenbar – das zeigt sich in diesem Jahr besonders deutlich: Eigentlich sollte sie spätestens im Mai 2013 ihr solares Maximum erreichen – eine besonders aktive Phase mit vielen Sonnenflecken und koronaren Massenausbrüchen. Doch stattdessen herrscht noch immer relative Ruhe auf unserem Zentralstern. Nur wenige Ausbrüche und kaum Sonnenflecken zeigen sich.*

Doch das könnte die Ruhe vor dem Sturm sein. Denn Sonnenphysiker gehen davon aus, dass das Maximum noch kommt – wenn auch mit Verspätung. Warum das so ist und was ein solares Maximum mit sich bringt, darum geht es in diesem Dossier.

## *Ominöse Ruhe*

*Das Verhalten der Sonne gibt Astrophysikern Rätsel auf*



*Wie ein Pendel: elfjähriger Zyklus der Sonnenaktivität  
© NASA*

Nach gängiger Annahme gleicht die Aktivität unserer Sonne einem gewaltigen Pendel: In einem Rhythmus von elf Jahren schwingt sie zwischen einer Phase der Ruhe und einer Phase der extremen Ausbrüche und Sonnenstürme hin und her. Steht sie in einem solaren Maximum, häufen sich die Anomalien in Magnetfeld und Temperaturen auf ihrer Oberfläche, als Folge entstehen besonders viele Sonnenflecken und immer wieder schleudert der Stern große Mengen Plasma und energiereiche Strahlung ins All.

Genau so ein Maximum sollte die Sonne den Berechnungen der Astrophysiker nach in diesem Jahr erreichen. Doch bisher lässt es auf sich warten. Statt ständiger Ausbrüche und Sonnenstürme herrscht Flaute auf unserem Zentralstern. Die bisher beobachtete Aktivität liegt deutlich unter dem Vorhergesagten. Eigentlich hatten die Astrophysiker den Höhepunkt der Saison für Mai 2013 prognostiziert.

Weil allerdings schon im solaren Minimum im Jahr 2006 bis 2008 die Sonne fast in Totenstarre verfallen war - so gut wie keine Flecken, kaum Flares oder Massenausbrüche - sagten die Experten auch für das Maximum eine eher unterdurchschnittliche "Performance" voraus. Maximal 90 Sonnenflecken, so erklärten sie, seien 2013 zu erwarten.

### *Zwei Gipfel statt einem?*



*Auch die letzten beiden Maxima hatten zwei Gipfel  
© NASA*

Bislang allerdings gibt es keine Anzeichen dafür, dass unser Stern aufwacht. Heißt das, das solare Maximum fällt aus? Nach Ansicht des Sonnenphysikers Dean Pesnell vom Goddard Space Flight Center der NASA ist das nicht der Fall. Stattdessen rechnet er mit einem Doppelwhopper: einem doppelten Gipfel des

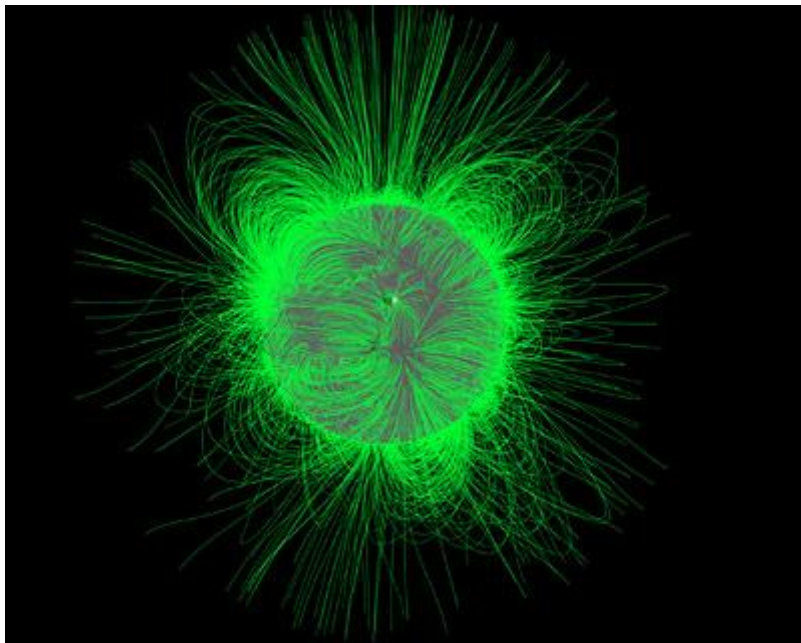
Maximums. *"Schon die letzten beiden solaren Maxima hatten nicht einen, sondern gleich zwei Peaks"*, erklärt der Forscher. Sowohl 1989 als auch 2001 stieg die solare Aktivität zwar zunächst wie erwartet an, sank dann aber wieder ab, nur um dann ein Jahr später nochmal anzusteigen.

Das gleiche, so glaubt er, könnte auch in diesem Jahr passieren. Denn bereits 2011 gab es ein erstes, schwaches Hoch der Sonnenflecken - das könnte der erste Gipfel gewesen sein. 2012 kam dann das extrem ruhige Loch. *"Ich bin relativ sicher, dass ein zweiter Gipfel noch in diesem Jahr kommen wird und dann voraussichtlich bis ins Jahr 2014 hinein anhalten wird"*, so Pesnell. Was aber verursacht einen solchen doppelten Gipfel?

### *Chaotisch und asynchron Wie entsteht ein Doppel-Maximum?*

Die Frage, warum unsere Sonne einen elfjährigen Zyklus durchläuft, ist noch immer nicht vollständig beantwortet. Etwas mehr weiß man aber inzwischen über ihr Magnetfeld - und damit über einen der wichtigsten Antriebskräfte für ihre Aktivität.

### *Chaotisches Knäuel*



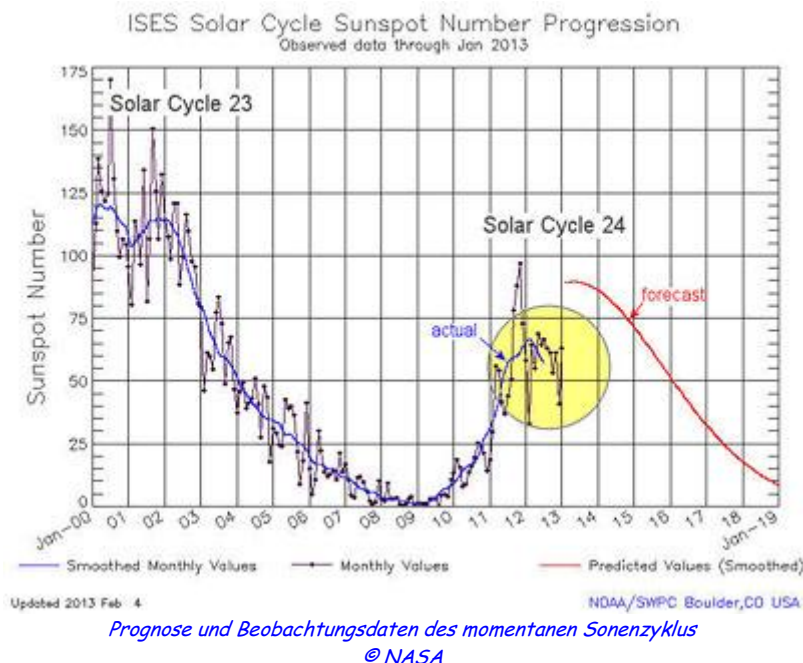
*Chaotisches Knäuel: Feldlinien des solaren Magnetfelds  
© NASA*

Bei der Erde ist alles noch ziemlich übersichtlich: Ihr Magnetfeld hat zwei Pole, die durch bogenförmig verlaufende Feldlinien miteinander verbunden sind. Zusammen bilden sie einen schützenden Käfig, der energiereiche kosmische Partikel weitestgehend fernhält. Anders bei der Sonne: Ihre Feldlinien verlaufen

weder geordnet noch symmetrisch und stabil sind sie auch nicht. Stattdessen hält das brodelnde und strömende Plasma sie ständig in Bewegung. Eine Karte des solaren Magnetfelds gleicht daher eher einem unordentlichen Wollknäuel, statt nur zweier Pole hat die Sonne viele.

Beobachtungen zeigen nun, dass sich im Laufe des solaren Zyklus die magnetische Struktur der Sonne komplett verändert: Zunächst wachsen die Spannungen im Feld, dies drückt sich durch zunehmende Aktivität aus. Dann schließlich kehrt sich ihr Magnetfeld komplett um - alle elf Jahre. So weit so übersichtlich. Aber warum bilden die Maxima in diesem Zyklus nun manchmal Doppelgipfel?

### *Südhalbkugel hinkt hinterher*



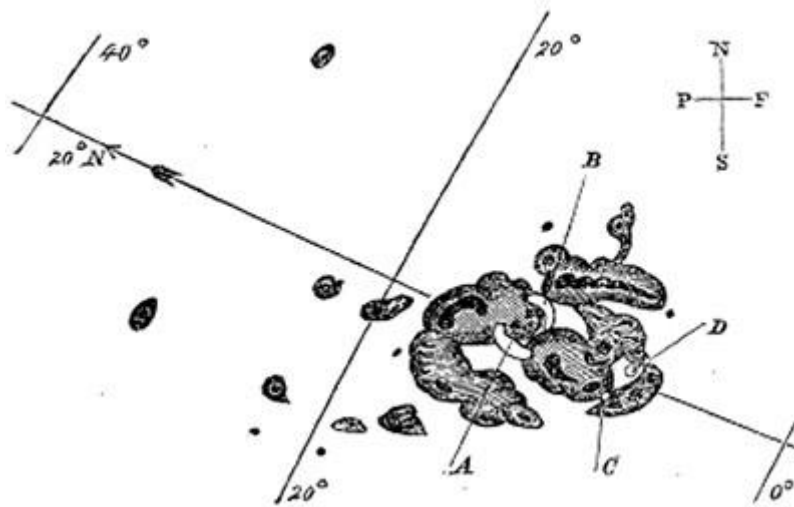
Der Grund liegt in einer weiteren Kuriosität des solaren Zyklus: Unser Zentralstern durchläuft ihn nicht als einheitliches Ganzes, seine beide Hemisphären reagieren in dieser Beziehung nur halbwegs synchron. Zurzeit hinkt beispielsweise die Südhalbkugel der Sonne der Aktivität der Nordhalbkugel hinterher. Wenn er im Laufe dieses Jahres dann aufholt, könnte dies den zweiten Peak auslösen. Erreichen dagegen beide Hälften gleichzeitig den Höhepunkt ihres Zyklus, gibt es nur einen, aber dafür starken Peak.

Noch aber blicken die Astrophysiker gespannt auf die Daten der Sonnenobservatorien - denn sicher ist bei unserem unberechenbaren Stern kaum etwas. Denn selbst die elf Jahre des solaren Zyklus sind nur ein Näherungswert. Es gab schon Zyklen, bei denen zwei Maxima nach nur neun Jahren aufeinander

folgten, in anderen ließen sie sich 14 Jahre Zeit.

Was aber müssen wir bei einem Maximum erwarten? Die Bekanntschaft mit einem der bis heute stärksten Symptome solarer Aktivität machte ein Forscher vor fast 200 Jahren.

### *Der Super-Ausbruch Das Carrington-Ereignis und die Entdeckung der Sonnenstürme*



*Carringtons Skizze der von ihm am 1. September 1859 beobachteten Sonnenflecken  
© NASA*

Wir schreiben den ersten September 1859. Im englischen Surrey steht der Astronom Richard Carrington wie üblich in seinem privaten Observatorium und richtet sein Teleskop auf die Sonne. Es ist ein wolkenloser Vormittag - also beste Bedingungen, um seine Studien der Sonnenflecken fortzusetzen. Um diese zu beobachten, projiziert der Forscher das Teleskopbild so auf einen Schirm, dass die Sonnenscheibe 28 Zentimeter groß erscheint - groß genug, um Sonnenflecken gut erkennen und abzeichnen zu können. An diesem Morgen ist die Ausbeute besonders groß: Eine enorme Gruppe dunkler Flecken verunziert die helle Sonnenscheibe.

Plötzlich aber geschieht etwas Unerwartetes: Zwei gleißend helle Lichtpunkte erscheinen über den Sonnenflecken und werden immer intensiver. Dann verschmelzen sie zu einem einzigen nierenförmigen Licht. Carrington hat so etwas noch nie gesehen. "Hastig rannte ich raus, um jemanden zu rufen, der gemeinsam mit mir das Ereignis bezeugen konnte", berichtet der Astronom später. ***Als ich 60 Sekunden später wiederkehrte, stellte ich zu meiner Enttäuschung fest, dass das Licht bereits völlig verändert und stark***

*abgeschwächt war.* " Was aber war das? Carrington findet darauf zunächst keine Antwort.

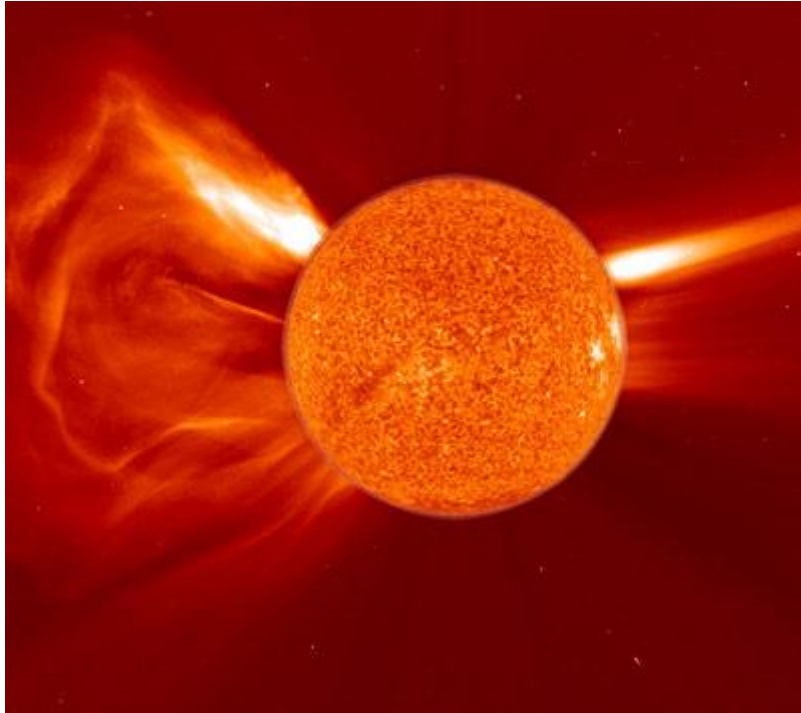
### *Polarlichter über den Bahamas*



*Polarlicht aus dem Orbit gesehen  
© NASA*

Am nächsten Morgen, kurz vor Sonnenaufgang, ist ein zweites Ereignis zu beobachten - diesmal aber nahezu weltweit: Überall am Himmel strahlen plötzlich leuchtende Polarlichter auf. Die roten, grünen und purpurfarbenen Schleier und Wirbel sind so hell, dass man in ihrem Schein problemlos eine Zeitung lesen kann. Selbst in den Tropen, über Jamaika, den Bahamas und Hawaii, leuchtet das Polarlicht - obwohl es sonst nur im hohen Norden und Süden zu sehen ist.

Aber bei diesem Himmelschauspiel bleibt es nicht: Telegraf-Angestellte bekommen einen heftigen Schlag, wenn sie ihre Geräte anfassen. In einigen Büros entzündet sich durch die überspringenden Funken sogar das Papier, auf dem die Telegramme notiert werden. Die Angestellten schalten sofort den Strom ab, doch selbst dann bleiben die Leitungen geladen. Sie können sogar noch Botschaften versenden - obwohl das ganze System eigentlich stromlos und damit ausgeschaltet sein müsste. Das unerklärliche Phänomen sorgt weltweit für Angst und Aufregung.



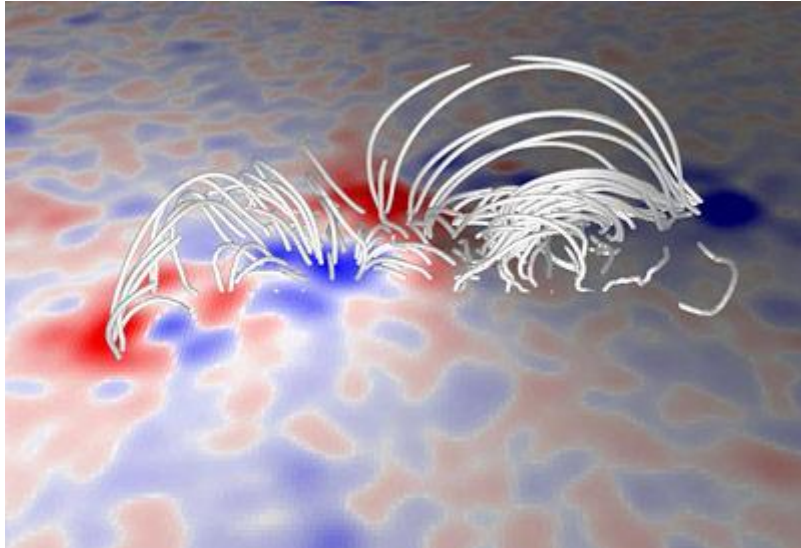
*Ausbruch: Die Sonne schleudert eine gewaltige Wolke aus Plasma ins All  
© NASA/ESA/SOHO*

Heute weiß man, dass Carringtons Beobachtung und die seltsamen Ereignisse am folgenden Morgen zusammenhängen und von einem bis heute ungewöhnlichen Ereignis herrühren. ***"Was der Astronom damals in seinem Teleskop sah, war ein gewaltiger Weißlicht-Flare - eine Magnetexplosion auf der Sonne"***, erklärt David Hathaway, Solarphysiker am Marshall Space Flight Center der NASA in Huntsville. Gleichzeitig mit diesem extrem energiereichen Strahlungsblitz schleuderte die Sonne auch eine Wolke von geladenen Teilchen weit ins All hinaus. Die Energie dieses Sonnensturms war so groß, dass er das schützende Magnetfeld der Erde stark verformte, als er mit ihm kollidierte. Als Folge gelangten geladene Partikel bis weit in die obere Atmosphäre hinein und lösten dort Entladungen und Polarlichter aus.

Dass sich beim diesjährigen Maximum ein Ereignis dieses extremen Kalibers wiederholt, ist eher unwahrscheinlich. Sonnenstürme aber könnten im Laufe des Jahres 2013 durchaus häufiger werden.

### ***Reißende Gummibänder Was passiert bei einem solaren Ausbruch?***

Wenn die Sonne aktiv wird, dann kann dies auf unterschiedliche Weise geschehen. Der Anfang ist allerdings meist ähnlich: Weil sich die Sonne nicht als massive Kugel dreht, sondern je nach Breitengrad verschieden schnell, werden die Feldlinien ihres Magnetfelds im Laufe der Zeit verdreht und verformt.

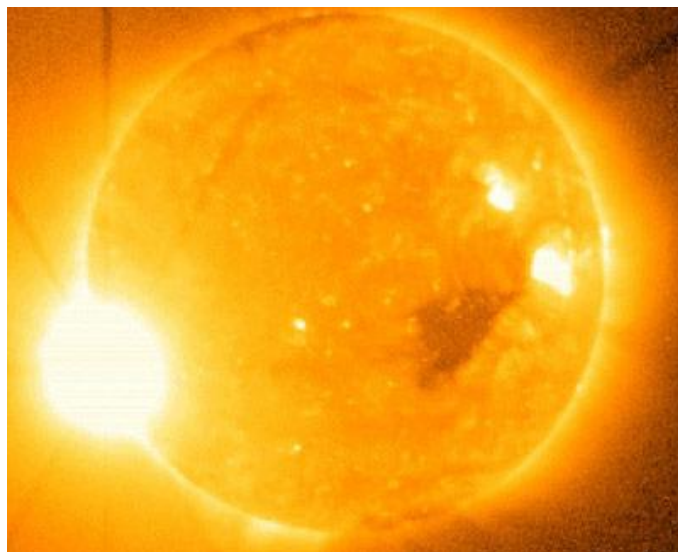


*Magnetische Feldlinien an einem Sonnenfleck © NASA/SDO/HMI Magnetische Feldlinien an einem Sonnenfleck*

***"Das ist wie ein verdrehtes Gummiband - mit dem man beispielsweise ein Spielzeugflugzeug durch die Luft katapultieren kann", erklärt Alex Young, Astrophysiker am Goddard Space Flight Center der NASA in Greenbelt. "Man verdreht das Gummiband, bis es irgendwann anfängt, Knoten zu bilden."***

Auch die Magnetfeldlinien der Sonne bilden bei zu starkem Verdrillen eine Art Knoten. Sie steigen dann an die Oberfläche und lassen dort einen Sonnenfleck entstehen - ein Gebiet, in dem die Temperaturen rund 2.000 Grad niedriger sind als sonst auf der rund 6.000 Grad heißen Sonnenoberfläche. Dadurch sinkt auch die Leuchtkraft an dieser Stelle und der Fleck erscheint von uns aus gesehen dunkel. Doch ähnlich wie bei einem Gummiband halten auch die Magnetfeldlinien dem Verdrehen nicht ewig stand.

### ***Strahlenblitz bei Rekonfiguration***



*© NOAA Space Weather Prediction Center*

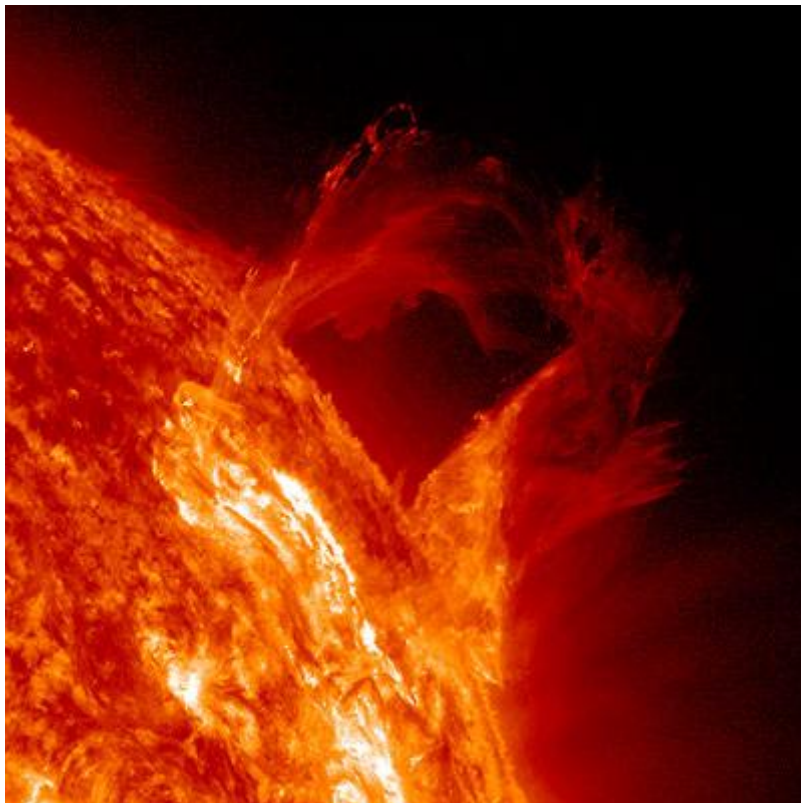
*Ein Flare ist als gleißender Lichtblitz auf der Sonnenoberfläche zu sehen. Dieser Flare ereignete sich am 5. Dezember 2006.*



*"Das Feld wird irgendwann instabil, rekonfiguriert sich und setzt dabei Energie frei - das Gummiband reißt",* erklärt Young. Die Folge eines solchen magnetischen Kurzschlusses ist oft ein sogenannter Flare - ein Blitz intensiver elektromagnetischer Strahlung von Radiowellen bis hin zu Gammastrahlen. Weil sich dieser kurze aber starke Blitz mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, hat er die Erde längst erreicht, wenn die im Weltraum stationierten Sonnenobservatorien ihn registrieren. Eine rechtzeitige Vorwarnung ist daher bei diesen Ereignissen kaum möglich. Werden Astronauten von einem starken Flare bei einem Weltraumspaziergang erwischt, können sie von den harten Röntgenstrahlen buchstäblich gegrillt werden.

Sonnenforscher arbeiten daher daran, Indikatoren im Verhalten des Sonnenmagnetfelds oder anderer Faktoren zu finden, die schon vor der Eruption eines Flares verraten, dass er bevorsteht. Das könnte Astronauten Zeit verschaffen, sich in hinter gepanzerten Wänden in Sicherheit zu bringen. Betreiber von Satelliten, Stromnetzen und der Flugverkehr hätten dann ebenfalls noch die Chance, sensible Geräte abzuschalten, Leitungen stillzulegen oder Flugrouten so umzuplanen, dass die Flugzeuge Gebiete mit voraussichtlich besonders starker elektrischer Aufladung großräumig umfliegen oder gleich ganz am Boden bleiben.

### *Plasma-Blob auf Erdkurs*



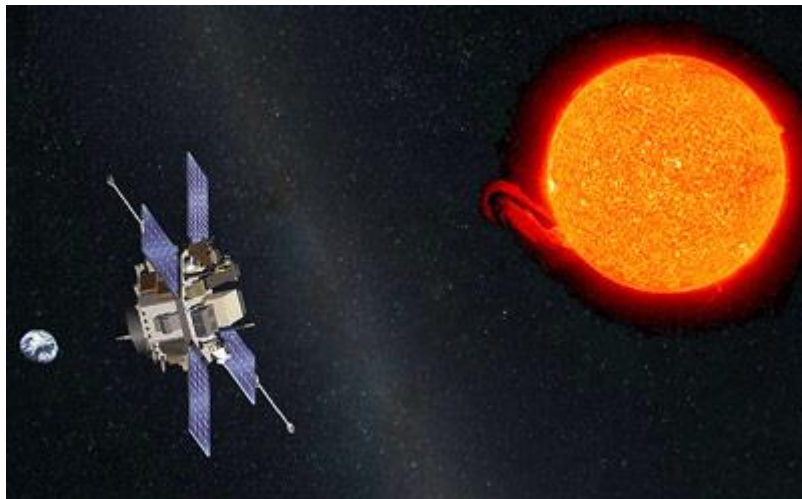
*Ein koronarer Massenauswurf schleudert Plasma ins All  
© Solar Dynamics Observatory/NASA*

Weitaus langsamer, dafür aber nachhaltiger wirkt sich ein koronarer Massenauswurf aus, der solche Flares oft begleitet. Bei diesem schleudert die Sonne bis zu einer Milliarde Tonnen Plasma ins Weltall hinaus und mit ihm einen Teil seines magnetischen Felds. Diese gewaltige Wolke aus geladenen, energiereichen Teilchen rast mit immerhin noch zwischen 1,5 und acht Millionen Kilometer pro Stunde Richtung Erde. Typischerweise erreicht sie uns in zwei bis drei Tagen, es gab aber auch schon Raser unter ihnen, die nur 19 Stunden.

### ***Verschmorte Trafos und zerstörte Satelliten Was sind die Folgen und was kann man tun?***

Auf der Erde hat ein Sonnensturm fatale Auswirkungen - vor allem auf die Elektronik. 1989 beispielsweise führte ein mit einem koronaren Massenausbruch gekoppelter Flare zu geomagnetischen Stürmen, die das Stromleitungsnetz in Kanada und den USA in weiten Teilen lahmlegten. Transformatoren brannten durch, sechs Millionen Menschen saßen mehr als neun Stunden lang ohne Strom da. Im Dezember 2005 störte ein Flare die Signale der GPS-Satelliten für zehn Minuten. ***"Das klingt nicht viel"***, erklärt Louis Lanzerotti, ehemaliger Techniker bei den Bell Laboratories. ***"Aber ich möchte dann nicht in einem Flugzeug sitzen, das von GPS geleitet gerade im Landeanflug ist."***

### ***Wachposten am Lagrangepunkt 1***



*Wachposten im All: der Advanced Composition Explorer (ACE)  
© Andrzej Mirecki / CC-by-sa 3.0*

Unter anderem deshalb haben die NASA und andere Weltraumorganisationen heute zahlreiche Observatorien im Weltraum stationiert, deren einzige Aufgabe es ist, die Sonne genau und rund um die Uhr zu überwachen. Ein wichtiger Vorposten ist dabei der Advanced Composition Explorer (ACE). Dieser bereits 1997 gestartet Satellit kreist um den sogenannten Lagrange Punkt 1 - einen Punkt 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt in Richtung Sonne. Er kann

als erster bestimmen, wohin sich ein Massenausbruch oder ein Flare von der Sonne aus bewegt - und ob er droht, die Erde zu treffen. *"Der ACE ist unser Frühwarnsystem"*, erklärt Young.

Rund eine halbe Stunde, nachdem sich ein solarer Ausbruch ereignet hat, wissen die Experten der Weltraumwetter-Überwachung in der Regel nicht nur, wann und wo er passierte, sondern auch wie schnell er sich bewegt und wo er treffen wird.

Registrieren sie das verräterische Aufleuchten eines koronaren Massenauswurfs, bleiben meist noch einige Stunden Vorwarnzeit, bis die volle Wucht des Sonnensturms die Erde erreicht. Vor allem für Satellitenbetreiber ist der *"Weltraum-Wetterbericht"* daher essenziell. Aber auch die NASA selbst nutzt diese Vorwarnzeit, um beispielsweise sensible Teile von Raumsonden abzuschalten, die ins Visier der Plasma- und Strahlenwolken zu geraten drohen. Häufiger ist dies beispielsweise bei der Merkur-Sonde *MESSENGER* der Fall.

### *Keine Chance gegen ein Carrington-Ereignis*



*Bei einem Sonnensturm gefährdet: das GPS-System  
© NASA*

Allerdings: Sollte ein Sonnensturm des Carrington-Kalibers unterwegs sein, gibt es nach Einschätzungen von Experten kaum etwas, was unsere Satelliten schützen könnte. Einer Studie nach wären in einem solchen Fall Kosten zwischen 30 und 70 Milliarden Dollar vorprogrammiert, denn die meisten Satelliten hätten dieser Energie kaum etwas entgegenzusetzen. Die elektrischen Entladungen würden ihre sensible Elektronik unrettbar durchbrennen lassen. Als Folge fiel ein Großteil der Telekommunikationssatelliten aus. Der etwas lakonische Lösungsvorschlag der Forscher dazu: Am besten halten die Betreiber jede Menge Ersatzsatelliten startbereit.

Immerhin einen Trost gibt es: Solare Ausbrüche wie im Jahr 1859 sind offenbar rar. Seither ist die Erde von zahllosen Flares und solaren Massenausbrüchen getroffen worden - doch keiner von ihnen war so heftig wie das Carrington-Ereignis. Das zeigen unter anderem Eisbohrkerne. Denn solche Ereignisse hinterlassen Spuren an verschiedenen Molekülen im Schnee, die dann in der jeweiligen Eisschicht konserviert bleiben. **"Das Carrington-Ereignis sticht dabei heraus als das größte der letzten 500 Jahre"**, erklärt NASA-Forscher David Hathaway. Heute schätze man, dass so etwas nur zwei Mal pro Jahrtausend vorkomme. Das aber heißt nicht, dass sich so etwas nicht heute wiederholen könnte, wie der Forscher betont.

### ***Sechs Minuten für die Sonnenforschung Die EUNIS-Mission und ihre Ziele***

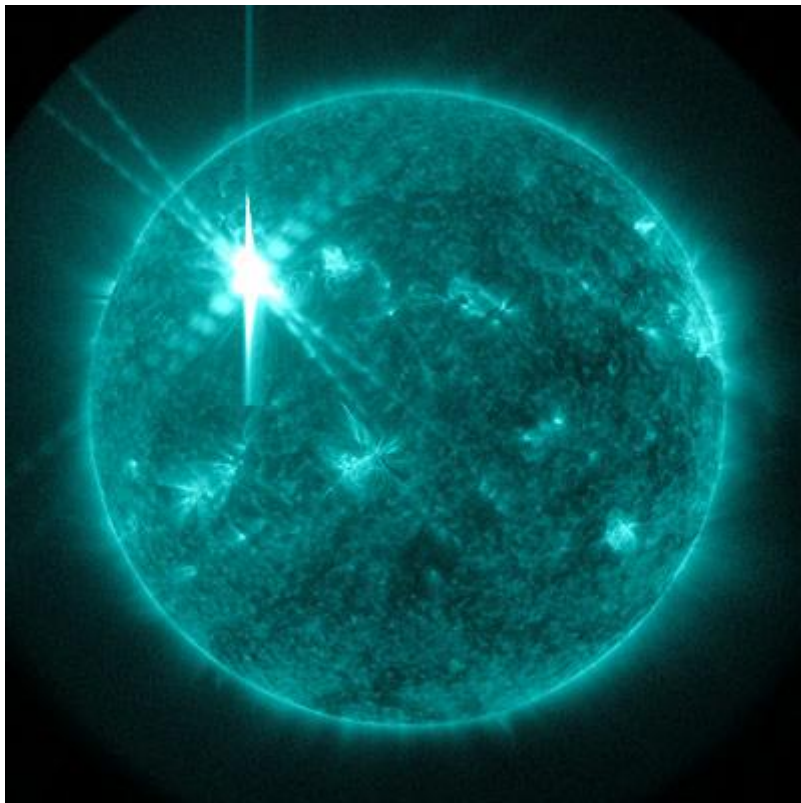


*EUNIS-Rakete vor dem Start  
© NASA/GSFC*

Längst nicht alle Sonnenobservatorien sind Satelliten, die jahrelang im Orbit oder am Lagrange-Punkt kreisen. Erst vor wenigen Tagen ist eine Sonnenforschungs-Mission der ultrakurzen Art gestartet: die EUNIS-Mission. Sie besteht im Prinzip nur aus einer mit Instrumente bestückten Rakete, die einmal in 320 Kilometer Höhe fliegt und dann wieder in die Atmosphäre eintaucht. Nur rund sechs Minuten dauert dabei die Messphase der Mission. **"Sechs Minuten klingt nicht viel"**, erklärt Douglas Rabin vom Goddard Space Flight Center der **NASA** in Greenbelt. **"Aber mit einer Aufnahme alle 1,2 Sekunden bekommen wir eine sehr gute zeitliche Auflösung und eine Menge Daten."** Damit lassen sich sehr gut feinste Details von dynamischen Ereignissen auf der Sonne erfassen, die nur rund zwei bis drei Minuten dauern.

Ziel ist es dabei unter anderem, den Prozessen auf den Grund zu gehen, die erklären können, was genau die solaren Ausbrüche auslöst und wie sie sich vorhersagen lassen könnten. Aber auch die Frage, warum beispielsweise die Korona, die äußere Atmosphäre der Sonne so viel heißer ist als ihre Oberfläche und was den Sonnenwind antreibt, wollen die Wissenschaftler mit Hilfe der *EUNIS*-Daten klären helfen.

### *Spektraler Fingerabdruck im extremen Ultraviolett*



*Flare im extremen Ultraviolett gesehen  
© NASA/GSFC*

Bei ihrem kurzen Flug richtet *EUNIS* ein extrem sensibles Spektrometer auf die Sonne. Dieses bildet das von unserem Stern ausgehende Licht im Bereich der extremen Ultraviolett-Wellenlängen ab und analysiert seine spektrale Zusammensetzung. Dieser Bereich der elektromagnetischen Strahlung ist deshalb so interessant, weil auch das solare Plasma im Bereich zwischen Oberfläche und Korona Licht dieser Wellenlänge abgibt. Da jedes Element abhängig von seiner Temperatur im Lichtspektrum eine bestimmte Signatur in Form einer Linie hinterlässt, verraten die von *EUNIS* eingefangenen Spektren wie eine Art Fingerabdruck den momentanen Zustand des Beobachtungsgebiets.



*Test der sensiblen Optik der EUNIS-Rakete  
© NASA/GSFC*

Jeder Schnappschuss von **EUNIS** stammt dabei aus einem langen, schmalen Streifen, der sich über rund ein Drittel der sichtbaren Sonnenseite zieht - rund 350.000 Kilometer weit. "Indem wir einen kleinen Ausschnitt der Sonne in so schneller Folge anschauen, können wir die Veränderungen und Strömungen auf ihrer Oberfläche sehr direkt beobachten und verfolgen", erklärt Adrian Daw, **NASA-Forscher am EUNIS-Projekt.**

Dass **EUNIS** auf ihrem kurzen Flug ausgerechnet einen solaren Ausbruch vor die Linsen bekommt, ist allerdings unwahrscheinlich. Aber da sich das solare Maximum nähert - egal ob nun als schwacher Zweitpeak oder schwacher Einzelgipfel - hoffen die **EUNIS-Forscher** auf einiges an Aktivität. Bis sie ihre Daten ausgewertet haben, wird es aber noch eine Weile dauern.



*Nadja Podbregar  
Stand 26.04.2013*