



Urs Mansmann

# Stürmische Zeiten

## Die Sonne nähert sich ihrem Aktivitätsmaximum

Unser Zentralgestirn steht unter ständiger Beobachtung. Zahlreiche Satelliten liefern jeden Tag gestochen scharfe Bilder von der Sonne aus verschiedenen Winkeln und zeichnen jede kleinste Regung auf der Oberfläche auf. Derzeit nähert sich die Sonne wieder ihrem Aktivitätsmaximum. Für uns Erdlinge hat das nur wenige Konsequenzen, auch wenn die Boulevardpresse mitunter die Angst vor Katastrophen schürt.

Jahrelang war es auf der Sonne ruhig, extrem ruhig sogar. Die Sonnenaktivität schwankt in einem ungefähr elfjährigen Rhythmus und das zurückliegende Sonnenfleckenminimum fiel so lange und tief aus wie seit rund 100 Jahren nicht mehr. Seit zwei Jahren steigt die Aktivität auf der Sonne wieder spürbar an. Die Aktivität sorgt für Schlagzeilen. Zwar ist es sachlich richtig, wenn dann hin und wieder der „schwerste geomagnetische Sturm seit Jahren“ tobt, das muss man allerdings vor dem Hintergrund sehen, dass die Sturmaktivität saisonal jahrelang vollkommen eingeschlafen war. Das Ereignis, das solche Schlagzeilen machte, war im langjährigen Vergleich nur ein mittelschweres. Der Vergleichsrahmen ist bei einem über elfjährigen Zyklus so sachgerecht, als wenn man im Mai den wärmsten Tag seit Monaten konstatierte.

In den vergangenen Jahren ist die Weltraumwettervorhersage der NASA immer präziser und für die Betreiber von Satelliten und Raumstationen immer wichtiger

geworden. Die US-amerikanische Weltraumbehörde NASA informiert in Echtzeit über die Entwicklungen des Weltraumwetters. Die frei verwendbaren, hochauflösenden Bilder und Filme sind auch für Massenmedien attraktiv, sodass das Weltraumwetter öfter als in den vergangenen Jahrzehnten in den Blickpunkt rückt.

Die Sonnenaktivität macht man wie eh und je an der Zahl der Sonnenflecken fest, auch wenn es inzwischen andere, aussagekräftige Indikatoren gibt, etwa das Rauschen bei 245 MHz und 10 cm (Radioflux). Die Zahl der Flecken wird seit 1749 täglich erfasst, der erste Zyklus begann im März 1755, der derzeitige trägt die Nummer 24. Die Astronomen erheben nach festen Regeln eine Relativzahl. Diese wird gebildet, indem man jede Fleckengruppe mit dem Wert 10 versieht und jeden Einzelfleck mit dem Wert 1. Liegt sie über 0, kann sie als niedrigsten Wert 11 annehmen, also ein einzelner Fleck, der nach der Regel stets gleichzeitig eine Gruppe darstellt. Ein Einzelfleck und eine Gruppe mit fünf Flecken

ergäben also die Relativzahl  $(10+1)+(10+5) = 26$ . Je nach optischer Leistungsfähigkeit des verwendeten Teleskops gibt es einen Korrekturfaktor, um eine niedrigere oder höhere Bildauflösung im Vergleich zum Referenz-Teleskop auszugleichen.

Im Sonnenfleckenminimum vergehen ganze Wochen oder Monate, in vergangenen Jahrhunderten waren es sogar mitunter Jahre, ohne dass ein einziger Fleck auftaucht. Im Maximum hingegen sind an jedem Tag aktive Fleckengruppen auf der Sonne zu sehen. Die Zahl der Sonnenflecken fluktuiert jedoch von Tag zu Tag sehr stark. Ständig verschwinden Flecken, wachsen und schrumpfen Fleckengruppen, entstehen neue. Die ermittelten Werte dieser dynamischen Vorgänge werden zu Monatsdurchschnitten zusammengefasst und diese wiederum über sechs Monate in die Vergangenheit und Zukunft geglättet. Als Minimum und Maximum werden dann die Monate bezeichnet, in denen dieser geglättete Wert im durchschnittlich elfjährigen Zyklus-

verlauf einen Tiefst- beziehungsweise Höchstwert markiert.

Im Minimum werden meist nur einstellige Werte der geglätteten Relativzahl erreicht. Im Maximum liegen die Werte typischerweise zwischen 50 und 200. Wann sich das Maximum ereignet hat, steht frühestens sechs Monate später fest, wenn das gleitende Mittel für den Monat aus den Durchschnitten der nachfolgenden Monate berechnet werden kann. Die Kurve steigt und fällt indes nicht in jedem Zyklus monoton. Im Sonnenfleckenzyklus 5 etwa markierte die Aktivität Mitte 1802 ein erstes Maximum, um anschließend wieder zu fallen. Das tatsächliche Maximum trat nach einem erneuten Anstieg erst drei Jahre später ein. Im Zyklus 1 gab es gleich zwei Vor-Maxima, die zwei und drei Jahre später jeweils nochmals übertroffen wurden.

### Protuberanzen

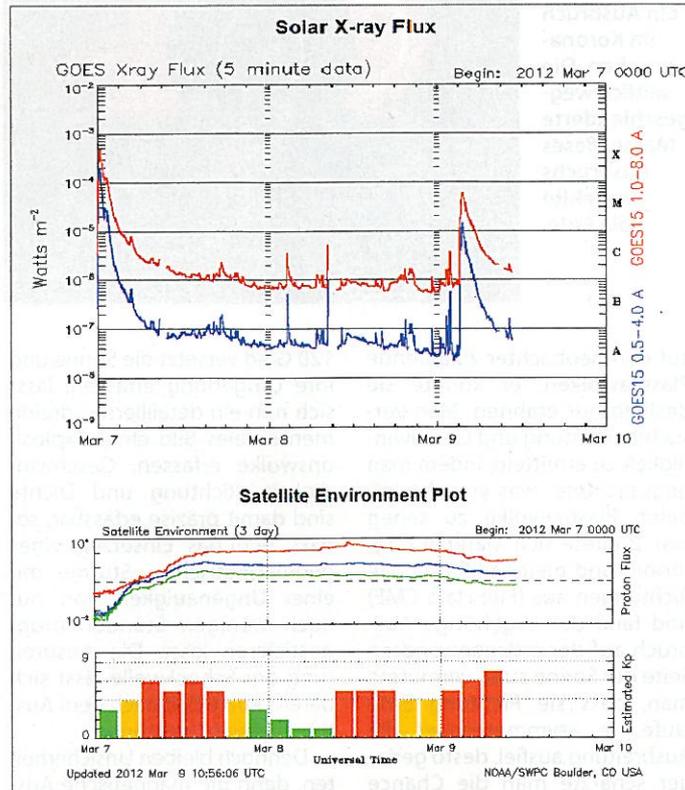
Sonnenflecken entstehen durch extrem starke Feldlinien, die die Sonnenoberfläche durchbrechen

und dabei die Konvektion verringern. Das sorgt dafür, dass die Oberfläche an dieser Stelle durch Abstrahlung so weit auskühlt, dass sie dunkler erscheint als der Rest. Wenn die Feldlinien einfache Konfigurationen annehmen, bleiben sie meist stabil. Mitunter bilden sich aber große, komplexe, knäuelartige Gebilde, bei denen gegenläufige Magnetfeldlinien dicht beieinanderliegen. Sonnenbeobachter unterteilen solche aktiven Zonen je nach ihrer magnetischen Konfiguration in Klassen zwischen Alpha, einer sehr einfachen, stabilen Situation, über Beta und Gamma bis Delta, einer extrem instabilen und komplexen Anordnung der Feldlinien. Bei einem Ausbruch rekonfigurieren diese plötzlich, mit einem ähnlichen Effekt wie ein schnappendes Gummiband. Die sich schnell bewegenden Magnetfelder befördern dann unter Umständen ähnlich wie eine Zwillie Masse aus der Sonnenkorona hinaus ins All.

Sogenannte „ruhende Protuberanzen“ (Filaments) knapp über der Oberfläche der Sonne bieten bisweilen eine besondere Show. Dort ist Materie über Tage oder Wochen wie in einem magnetischen Käfig gefangen und strömt durch diesen hindurch. Am Sonnenrand lassen sie sich prächtig beobachten, auf der Sonnenscheibe zeichnen sie sich als dunkle Bänder ab. Die größten Protuberanzen erstrecken sich bogenförmig über einen Großteil der Sonnenoberfläche. Verschwindet das Magnetfeld schlagartig, wird die in der Protuberanz enthaltene Masse in die Umgebung und teilweise ins All geschleudert. Solche Ausbrüche sind selten, aber optisch spektakulär, da sie viel sichtbare Masse bewegen. Viel häufiger sind aber Ausbrüche innerhalb eines Sonnenflecks, den sogenannten aktiven Protuberanzen, die mitunter sehr heftig ausfallen können.

## Röntgenstrahlung

Erstes sichtbares Anzeichen eines Ausbruchs, der je nach Größe und Typ zwischen einigen Minuten und einigen Stunden lang dauern kann, ist ein Aufleuchten der betreffenden Region im Röntgenbereich. Das lässt sich nur von Satelliten aus wahrnehmen, die Erdatmosphäre ist für Röntgenstrahlung komplett undurchlässig. Im Wel-



lenbereich sichtbaren Lichts ist eine Helligkeitsänderung nur bei den stärksten Ausbrüchen wahrzunehmen.

Die Röntgenstrahlung wird in der Erdumlaufbahn gemessen, gängige Einheit ist Watt pro Quadratmeter. 10 nW/m<sup>2</sup> entsprechen der niedrigsten Klasse A 1, bei 20 Nanowatt wird A 2 erreicht. Nach A 9 (90 Nanowatt) folgt B 1 (100 nW/m<sup>2</sup>). Auf Klasse B folgt Klasse C (1 bis <10 μW/m<sup>2</sup>). Die Hintergrundstrahlung bewegt sich im Sonnenfleckenminimum oft noch unterhalb der Klasse A und steigt im Sonnenfleckenmaximum mitunter bis zur Klasse C an. Im Tagesverlauf schwankt sie ständig leicht. Plötzliche Anstiege dieser Strahlung um ein Vielfaches sind stets mit Ausbrüchen auf der Sonne verbunden, sie werden als Flares bezeichnet. Solche Flares treiben die Strahlung mitunter kurzzeitig bis auf Klasse M (10 μW/m<sup>2</sup>) oder X (100 μW/m<sup>2</sup>) hoch. Da nach Klasse X keine weitere folgt, zählt man beim Überschreiten von 1 mW/m<sup>2</sup> einfach weiter mit X10. 3 mW/m<sup>2</sup> entspricht X30, dem bislang höchsten gemessenen Wert.

Die Röntgenstrahlung regt die D-Schicht der Ionosphäre stark an, die ihrerseits Kurzwellensignale bedämpft. Heftige Ausbrüche der Klasse X führen

deshalb stets zum kompletten Zusammenbruch jeglichen überregionalen Kurzwellenverkehrs via Reflexion an der Ionosphäre auf der sonnenzugewandten Seite der Erde. Auf der Nachtseite ist der Effekt vernachlässigbar. Wenn die Röntgenstrahlung nachlässt, verschwindet der Effekt ohne Verzögerung. Dieses Phänomen trifft aber nur wenige Anwender, die Nutzung der Kurzwellen ist durch immer günstigere und zuverlässigere Satellitendienste ein wenig aus der Mode gekommen. Bei großen Ausbrüchen wird jedoch die Satellitennavigation beeinträchtigt; ein hoher Ionisierungsgrad erhöht die Ungenauigkeit bei der Messung, da der Signalweg durch Beugung in der Ionosphäre verändert wird.

Bei starken Ausbrüchen erhöht sich oft auch das Rauschen der Sonne im Funkspektrum unmittelbar nach Beginn des Aufleuchtens im Röntgenbereich. Dieses Rauschen erstreckt sich vom Kurzwellenbereich beginnend über das gesamte genutzte Funkspektrum. Die Rauscherhöhung kann zu Problemen führen, insbesondere, wenn die Sonne gerade zufällig im Öffnungsbereich einer Satellitenantenne steht. In Mobilfunknetzen lässt sich eine Erhöhung des Sonnenrauschens durch eine

Ein Flare der Klasse X5 (oben) setzt kurz darauf einen Strahlungsturm frei (Mitte), der mit dem Eintreffen der Schockfront (unten) auf der Erde rund 36 Stunden später ein Maximum erreicht. Dieses Ereignis vom März 2012 erreichte in allen drei Kriterien Warnstufe 3 von 5.

erhöhte Quote von Gesprächsabbrüchen statistisch nachweisen. Das betrifft aber nur Verbindungen mit niedrigen Signalstärken, die ohnehin kurz vor dem Abbruch stehen. Bei hohen Feldstärken des Nutzsignals bleibt ein erhöhtes Sonnenrauschen folgenlos.

## Strahlungsturm

Fallen Ausbrüche besonders heftig aus, können sie einen Strahlungsturm auslösen. Die Sonne emittiert dann an der Ausbruchsstelle Protonen. Einige Stunden nach dem sogenannten Flare treffen die ersten Teilchen in Erdnähe ein. Dann steigen die Protonenwerte, die von Satelliten in der Erdumlaufbahn gemessen werden, stark an, mitunter auf ein Vieltausendfaches des normalen Hintergrundwerts. Größere Ereignisse halten meist mehrere Tage lang an.

Da Protonen über Masse verfügen und eine Ladung tragen, werden sie beim Erreichen des Magnetfelds der Erde abgelenkt und schlagen in einem Gebiet rund um die Magnetpole der Erde in die Ionosphäre ein. In großer Höhe, um 80 Kilometer, erhöhen sie die Ionisierung der D-Schicht. Bei starken Ereignissen bricht der Kurzwellenverkehr in und durch die Polarregionen – von Europa aus sind das beispielsweise die Funkstrecken an die US-Westküste, nach Hawaii und Alaska – tagelang komplett zusammen.

Mit der Hochatmosphäre interagierende Protonen mit hoher Energie lösen eine Kaskade aus Elementarteilchen aus. Steigt die Zahl der Protonen um Größenordnungen an, führt das in der Hochatmosphäre zu einer spürbaren Zunahme der kosmischen Strahlung. Überschreitet die Energie der Protonen 500 MeV, was nur bei den größten Ereignissen geschieht, ist die von ihnen verursachte Strah-

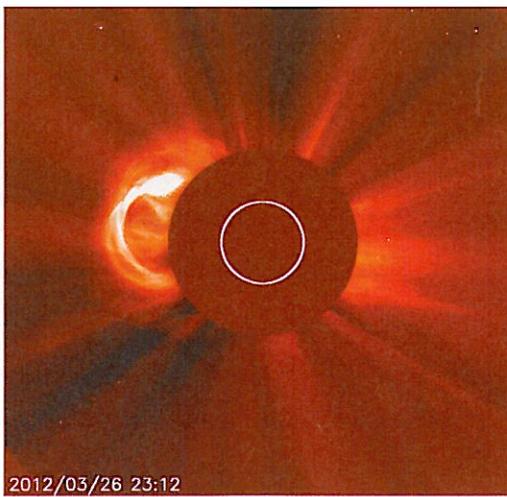
lung sogar noch auf Meereshöhe messbar; man spricht dann von einem Ground Level Event (GLE).

**Masseauswurf**

Je größer die Energie eines Röntgenstrahlungsausbruchs auf der Sonne ist, desto größer ist die Chance, dass dabei ein markanter koronaler Masseauswurf (Coronal Mass Ejection, CME) stattfindet und eine Plasmawolke mit hoher Geschwindigkeit von meist 400 bis 1500 km/s die Oberfläche verlässt. Ein solcher Auswurf tritt um ein Vielfaches häufiger auf als ein Strahlungsturm. Begleitet wird dieser Vorgang stets von einer Rauscherhöhung im Radiobereich mit einer bestimmten Charakteristik (Type IV Radio Emission). Je nach Position des Ausbruchs auf der Sonnenoberfläche und Richtung des Ausstoßes kann die Erde von einer solchen Plasmawolke getroffen werden. Ist sie auf die Erde gerichtet, trifft sie dort ein bis vier Tage nach dem Ausbruch ein, abhängig von der Ausgangsgeschwindigkeit. Das Plasma deformiert das Magnetfeld der Erde und löst damit einen geomagnetischen Sturm aus, der sich vor allem durch Nordlichter optisch bemerkbar macht.

Noch im letzten Sonnenfleckennmaximum war die Vorhersage solcher Stürme extrem ungenau. Die Sonne überstrahlt

**Ein Ausbruch im Koronagraphen. Die seitlich weggeschleuderte Masse dieses Ausbruchs verfehlte die Erde.**



auf den Beobachter zulaufende Plasmawolken, er konnte sie deshalb nur erahnen. Man versuchte, Richtung und Geschwindigkeit zu ermitteln, indem man begutachtete, was von der initialen Plasmawolke zu sehen war. Breitere sich Material ringförmig und gleichmäßig in alle Richtungen aus (Full Halo CME) und fand der zugehörige Ausbruch auf der erd zugewandten Seite der Sonne statt, vermutete man, dass sie Richtung Erde laufe. Je asymmetrischer die Ausbreitung ausfiel, desto geringer schätzte man die Chance dafür ein. Die Trefferquote war lausig – allzu oft traten überraschend heftige Stürme auf oder fielen angekündigte aus. Und wenn ein vorhergesagtes Ereignis tatsächlich eintrat, geschah das oft ganze Tage früher oder später als vorhergesagt, weil man die Geschwindigkeit falsch eingeschätzt hatte.

Mit den beiden Satelliten Stereo A und B, die nahe der Erdumlaufbahn derzeit um jeweils rund

120 Grad versetzt die Sonne und ihre Umgebung erfassen, lässt sich nun ein detailliertes, dreidimensionales Bild einer Explosionswolke erfassen. Geschwindigkeit, Richtung und Dichte sind damit präzise erfassbar, sodass sich das Einsetzen eines geomagnetischen Sturms mit einer Ungenauigkeit von nur noch wenigen Stunden prognostizieren lässt. Die Ausbreitung der Schockwelle lässt sich bereits kurze Zeit nach dem Ausbruch genau berechnen.

Dennoch bleiben Unsicherheiten, denn die magnetische Ausrichtung der Plasmawolke lässt sich noch nicht ermitteln. Und die Ausrichtung entscheidet darüber, wie stark ein solcher Sturm ausfällt. Ist sie gegenläufig zum Erdmagnetfeld, schwächt sie dieses, was einen Sturm verstärkt. Auch der gegenläufige Effekt ist möglich: Ein mit dem Magnetfeld der Erde gleichgerichtetes Plasmafeld hat meist nur einen milden Sturm zur Folge, selbst wenn das Plasmafeld dicht ist und sich schnell bewegt.

Die beiden Stereo-Satelliten bewegen sich indessen immer weiter von der Erde weg. Der Winkel, aus dem sie beobachten, wird bald wieder ungünstiger. In einigen Jahren werden sie sich von der Erde aus gesehen hinter der Sonne treffen; bis dahin wird die Aktivität der Sonne aber voraussichtlich wieder abgeklungen sein.

**Auswirkungen von Großereignissen**

Die US-Wetter- und Ozeanografiebehörde NOAA ordnet Röntgenausbrüche, Strahlungstürme sowie geomagnetische Stürme jeweils in eine fünfteilige Skala ein (siehe c't-Link). Berichtenswert ist eigentlich nur der höchsten Stufe 5, der je nach Art des Ereignisses im statistischen Mittel alle drei bis 20 Jahre vor-

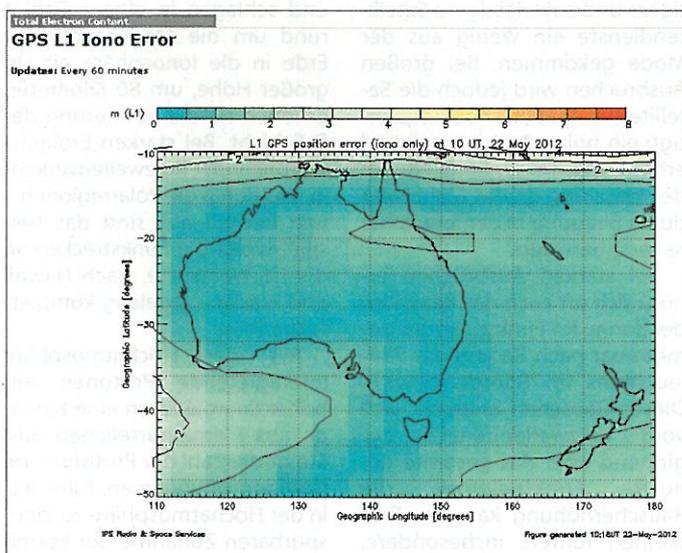
kommt. Die Auswirkungen sind nur bei solchen Großereignissen tatsächlich spürbar.

Ein Röntgenausbruch der Klasse X20 und darüber fällt in die höchste Klasse. Als erste Folge geht der Kontakt zu Schiffen und Flugzeugen per Kurzwelle stundenlang verloren. Lediglich der Längstwellen-Empfang verbessert sich, weil die in diesem Frequenzbereich ansonsten hauptsächlich absorbierende D-Schicht durch die hohe Ionisation zum Reflektor wird. Die Genauigkeit der Positionierung mit Hilfe von Langwellen-Funkbaken- und Satellitensystemen wird durch die hohe Ionisierung beeinträchtigt.

Ein derart heftiger Ausbruch wird in aller Regel von einem rasch einsetzenden und heftigen Strahlungsturm begleitet, der oft noch vor dem Abklingen des Röntgenausbruchs die ersten Warnstufen überschreitet. Solche Ereignisse zwingen die Besatzung der ISS dazu, besonders abgeschirmte Bereiche der Station aufzusuchen, um sich zu schützen. Das Teilchenbombardement stört Bildaufnehmer von Satelliten, sodass ihre Lagekontrolle ausfallen kann, beeinträchtigt Datenverarbeitungsanlagen an Bord durch Single Event Upsets (SEU), die zu Speicherfehlern führen, und lässt die Solarpanels zur Energiegewinnung innerhalb weniger Tage um viele Jahre altern. Die Satellitenbetreiber versetzen deswegen wichtige Systeme in einen Safe Mode und verschieben kritische Arbeiten wie manuelle Lagekorrekturmanöver, bis sich die Lage beruhigt hat.

Auf der Erde erhöht sich die kosmische Strahlung in den Polargebieten während eines solchen Strahlungsturms signifikant. Transpolarflüge werden bei Großereignissen umgeleitet oder auf niedrige Flughöhen geordnet. Transpolare Funkverbindungen über Kurzwelle fallen vollständig aus. Die Genauigkeit von Navigationssystemen in den Polargebieten ist reduziert.

Frühestens 18 Stunden nach dem Ausbruch, die kürzeste bislang gemessene Zeit, trifft das ins All ausgestoßene Plasma aufs Erdmagnetfeld. Die geladenen Partikel werden abgelenkt und erzeugen in einem Ring rund um die Magnetpole lebhaftes Polarlichter. Die Schockfronten deformieren die Magnetopause, also die äußere Grenze des Erdmag-



In mittleren Breiten beträgt die Abweichung bei der Positionsfeststellung per GPS durch ionosphärische Signalverzögerungen unter Normalbedingungen bereits 1 bis 5 Meter, stürmisches Weltraumwetter erhöht diesen Wert deutlich.

netfelds, so weit, dass Satelliten im geostationären Orbit zeitweise ins interplanetare Magnetfeld geraten und dem Sonnenwind ungeschützt ausgesetzt sind. Bei einem gleichzeitig tobenden Strahlungsturm werden die Satelliten arg gezaust; der eine oder andere fällt dann aus.

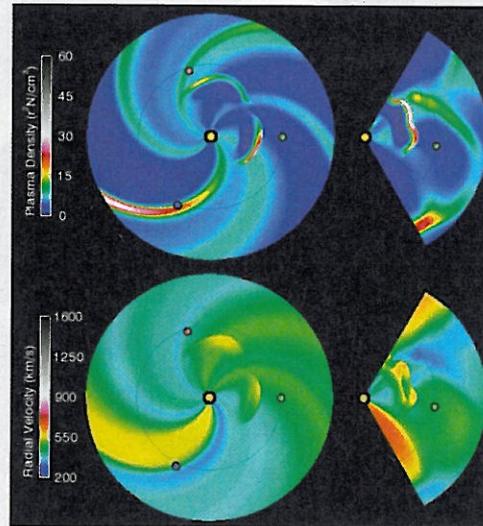
Je stärker der Sturm ausfällt, desto weiter südlich sind Nordlichter zu beobachten und desto kräftiger fallen die Leuchterscheinungen insgesamt aus. Damit sie in Norddeutschland zu sehen sind, ist mindestens ein Sturm der Klasse drei, in Süddeutschland der Klasse vier erforderlich. Zu sehen sind Nordlichter nur bei günstigsten Umständen, also vollständiger Dunkelheit und klarem Himmel, vorzugsweise außerhalb der Großstädte, deren intensive Beleuchtung schwache Leuchterscheinungen überdeckt. Die ohnehin seltenen Nordlichterscheinungen in Deutschland werden nur von wenigen Beobachtern wahrgenommen.

Heftige geomagnetische Stürme können zu Stromausfällen führen, weil schnelle Änderungen im Erdmagnetfeld in Überlandleitungsnetzen hohe Gleichströme induzieren, die das Potenzial haben, Transformatoren an den Leitungsenden zu beschädigen oder zu zerstören. Solche Stromausfälle sind selten und zumeist regional begrenzt.

Umfangreiche Schäden an der Infrastruktur der Stromnetze sind nur von Jahrhundert- oder Jahrtausendereignissen zu erwarten, denn bisherige heftige geomagnetische Stürme haben im schlimmsten Fall regional zu Stromausfällen geführt, etwa 1989 im kanadischen Quebec oder 2005 im schwedischen Malmö. Der schwerste Magnet-

sturm der Neuzeit fand im September 1859 statt und stellte in mehrfacher Hinsicht Rekorde auf. Nordlichter waren bei diesem Ereignis selbst noch in subtropischen und tropischen Breiten zu sehen. Telegrafenteleuten weltweit fielen aus. In heutiger Zeit würde ein derart heftiger Sturm erhebliche Schäden an Überlandleitungen und möglicherweise auch Pipelines verursachen. Wie oft ein solch heftiges Ereignis auftritt, ist unklar; Wissenschaftler schätzen das mittlere Intervall auf 150 bis 500 Jahre; ein solches Ereignis selbst zu erleben ist also eher unwahrscheinlich, aber eben nicht ausgeschlossen. Dabei sind durchaus noch stärkere Ereignisse als das von 1859 denkbar, wenn sich beispielsweise mehrere verschiedene schnelle Schockfronten überlagern und die Erde gleichzeitig erreichen.

Zwar fällt das derzeitige Sonnenfleckenmaximum mit einem Mittelwert von bislang gerade einmal 50 gering aus, aber solch heftige Ausbrüche sind dennoch möglich. Der Megasturm im Jahre 1859 ereignete sich auch in einem schwachen Maximum mit einer Relativzahl von gerade einmal 50. Derzeit stehen wir diversen Prognosen zufolge kurz vor dem Aktivitätsmaximum der Sonne, das im kommenden Jahr stattfinden soll. Danach folgen viele Jahre, meist sechs bis sieben, in denen die Aktivität immer weiter zurückgeht, bis das Minimum erreicht ist. Das betrifft allerdings nur die Fleckenzahlen. Die geomagnetische Aktivität stieg in den zurückliegenden Zyklen nach dem Fleckenmaximum weiter an und erreichte ihren Höhepunkt erst drei bis vier Jahre später.



Die Ausbreitung von Schockfronten lässt sich präzise vorhersagen, in Animationen lässt sich ihr Lauf verfolgen.

### Beobachtung im Web

Zahlreiche Dienste und Seiten im Internet verfolgen die Aktivität auf der Sonne. Letztendlich greifen fast alle auf Daten zurück, die die NASA und die NOAA in Echtzeit bereitstellen. Primärquelle sind stets die Webseiten der NOAA, der amtlichen Wetterbehörde der USA. Diese betreibt das Space Weather Prediction Center, das auf der Startseite den aktuellen Warnstatus auflistet.

Die amtlichen Daten kommen zwar präzise und in Echtzeit, aber ohne Interpretation daher. Aktualisierte Berichte, Einordnungen und Vorhersagen finden sich auf spezialisierten Seiten wie Spaceweather.com, Solen.info oder Solarham.net. Oft findet man dort kurz nach großen Ausbrüchen bereits erste Analysen und Einschätzungen. Besonders Funkamateure interessieren sich für das Weltraumwetter, da es die Funkbedingungen erheblich beeinflusst.

Welchen Einfluss die Ionosphäre auf die Genauigkeit von GPS-Systemen nimmt, untersucht das australische Büro für Meteorologie. Dort lassen sich Karten abrufen, die den totalen Elektronengehalt der Ionosphäre (Total Electron Count, TEC) und die derzeitige Abweichung darstellen. Die Positionierungsfehler durch ionosphärische Einflüsse

können durchaus einige Meter ausmachen, bei starken Störungen noch mehr.

Bei Juliusruh arbeitet eine Ionosonde. Diese erfasst viertelstündlich den Zustand der Ionosphäre. Der plötzliche Ausfall von Kurzwellenverbindungen (Shortwave Fadeout, SWF) lässt sich dort gut ablesen. Noch deutlicher zu sehen sind Störungen der Ionosphäre durch die Deformation des Magnetfelds.

In Kiel betreiben Funkamateure ein Magnetometer, das den K-Wert für jede dreistündige Periode erfasst. Die Skala ist logarithmisch, geschlossen und reicht von 0 (ruhig) bis 9 (schwerster geomagnetischer Sturm). Um den Wert auf das fünfteilige Warnsystem der NOAA umzurechnen, muss man lediglich vier abziehen. Erst ab einem K-Wert von 5 spricht man von einem Magnetsturm.

Auf diversen Seiten lassen sich aktuelle Sonnenfleckenkarten abrufen. Die sind für Gelegenheitsbeobachter interessant, die mit speziell ausgestatteten Teleskopen oder Projektoren Beobachtungen vornehmen wollen. Im Sonnenfleckenmaximum gibt es auch mit einfacher und preiswerter Ausrüstung viel zu sehen. Dabei sollte man sich aber nie dazu verleiten lassen, ohne geeignete Filter direkt in die Sonne zu blicken. Wagt man das mit dem ungeschützten Auge oder mit ungeeigneten Filtern, etwa berußten Gläsern oder geschwärzten Folien, drohen erhebliche und permanente Netzhautschäden, selbst bei tief stehender Sonne. (uma)

Auf einem UV-Bild lassen sich die magnetischen Strukturen einer aktiven Region auf der Sonne gut erkennen.

[www.ct.de/1213070](http://www.ct.de/1213070)

ct