

Polarlichter – Atomphysik am Himmel

Warum tanzen Polarlichter am Himmel? Die Satelliten Rumba, Samba, Salsa und Tango durchflogen vor kurzem ein solches Naturschauspiel. Glaubt man einer alten Bauernregel – Oktobernordlicht, glaub es mir, verkündet harten Winter dir – so hätte man mit den ungewöhnlichen Schneemassen rechnen können, die um den Jahreswechsel herum allen „mobilen“ Europäern das Leben schwer gemacht haben: Denn im Oktober 2001 waren in mehreren Nächten sogar in Süddeutschland



Abb. 1: Polarlichter entstehen, wenn Sonnenwindpartikel in die Atmosphäre der Erde eindringen, sich ihr bis auf etwa 100 km nähern und Atome in der so genannten Ionosphäre zum Leuchten anregen. Ein solches Himmelschauspiel tritt am häufigsten in polnahen Regionen der Erde auf – manchmal jedoch auch in Deutschland. (Foto: ESA)

Nordlichter zu beobachten. Als Wetterprophet hat dieses Himmelschauspiel aber eine eher zweifelhafte Bedeutung; vielmehr handelt es sich um eine Manifestation des Magnetfeldes in den Polarregionen der Erde (Abb. 1).

Das Polarlicht erscheint um den magnetischen Nord- und Südpol der Erde. Es wird daher auch Nordlicht bzw. Südlicht oder – in der Fachsprache – Aurea Borealis bzw. Aurea Australis genannt. Innerhalb des sog. Polarlichtovals zwischen 70 und 80 Grad geomagnetischer Breite sind jede Nacht Polarlichter zu beobachten. Die ausführlichsten historischen Berichte über Nordlichter stammen daher aus Skandinavien, die ältesten Aufzeichnungen gehen bis in die Wikingerzeit (500–1300 v. Chr.) zurück.

Was sind Polarlichter?

Polarlichter oder Aurorae entstehen durch das Zusammenspiel zweier Partner: dem Magnetfeld der Erde und der äußersten Schicht der Sonne, der Korona. Die Korona ist so heiß, dass neutrale Atome dort dissoziieren und ein dünnes Plasma geladener Teilchen hervorrufen – den Sonnenwind. Dieses Gas

strömt mit Geschwindigkeiten von 300 bis 1000 km/s nach allen Richtungen von der Sonne weg und erreicht in Erdnähe im Mittel rund 400 km/s. Durch den magnetischen Druck des Sonnenwindes wird das Erdmagnetfeld in eine kometenartige Form gezwungen (Abb. 2).

Die vordere, sonnenzugewandte Seite der Magnetosphäre ist für die Sonnenwindteilchen undurchdringlich, sie sickern vielmehr beim Vorbeistreichen des Sonnenwindes am Magnetosphärenschweif in die Magnetosphäre und sammeln sich in der sog. Plasmaschicht, die über Magnetfeldlinien mit der Erde verbunden ist. Entlang dieser Feldlinien werden Elektronen aus der Plasmaschicht zur Erde hin beschleunigt und dringen – in Folge der Lorentz-Kraft spiralförmig – in die Atmosphäre ein. Beim Zusammenstoß mit Atomen, Molekülen oder Ionen werden diese durch Anheben eines äußeren Elektrons in eine höhere Schale angeregt. Beim Zurückfallen in den Grundzustand wird Licht emittiert, das als Polarlicht beobachtet werden kann. Da die Polarlichter in etwa 100–150 km Höhe entstehen, sind sie über Hunderte von Kilometern zu sehen.

Normalerweise beginnen die Feldlinien, die die Plasmaschicht mit der Erde verbindet, in (magnet-)polnahen Gegenden, was zusammen mit dem „Wegdrehen“ der Erde unter der Eindringzone ein ovales Gebiet ergibt, in dem Polarlichter zu beobachten sind. Dass man dennoch ab und zu auch Breiten von etwa 50 Grad Nord bzw. Süd Polarlichter genießen kann, liegt an einer besonderen Eigenschaft der Sonne: Ihre Aktivität schwankt in einem 11-jährigen Rhythmus, was dazu führt, dass sich die Dichte und Geschwindigkeit des Sonnenwindes stark erhöht und der Magnetosphärenschweif stark in Mitleidenschaft gezogen wird. Sehr vereinfacht dargestellt entstehen durch die kurzfristige Stauchung des Erdmagnetfeldes bzw. einer Einschnürung des Magnetosphärenschweifs (und damit der Plasmaschicht) die Polarlichter dann nicht nur um die Pole herum, sondern lassen sich z. B. auch über Deutschland beobachten.

Insofern sind die ungewöhnlich häufig auftretenden Polarlichtereignisse in Deutschland in den vergangenen beiden Jahren wohl eher auf das Maximum des 11-jährigen Zyklus' der Sonnenaktivität zurückzu-

führen, denn als Vorboten eines harten Winters zu begreifen. Bei solch heftigen Sonneneruptionen und den damit einhergehenden starken Schwankungen des Erdmagnetfeldes spricht man von einem geomagnetischen Sturm. Durch die starken Ströme und Ionisierungsvorgänge in der Ionosphäre können dabei Satelliten ausfallen oder der Funkverkehr gestört werden. Verschiedene Organisationen betreiben daher eine Polarlichtvorhersage. Dazu werden mit dem Satelliten SOHO starke Sonnenausbrüche registriert.

Bögen, Streifen und Vorhänge

Die verschiedenen Formen und Farben des Polarlichts entstehen durch die zeitlichen und räumlichen Variationen des einfallenden Teilchenstroms. Am frühen Abend beobachtet man in Ost-West-Richtung 100 bis 1000 km lange und 10 bis 50 km breite Bögen, die ruhig und mehrere Stunden am Nachthimmel schweben. Bei einem stärkeren Teilchenstrom werden die Bögen heller und gelangen nach Süden, die ruhigen Bögen entwickeln den Magnetfeldlinien folgende, also vertikal verlaufende Lichtstrahlen oder Streifen. Bilden die Lichtstrahlen sich schnell bewegende Falten und Wellen, so erinnert die Erscheinung an ein fließendes Lichtband mit ständig sich ändernder Leuchtintensität; man spricht dann von Bändern. Die westwärts wandernde Woge kennzeichnet die Hauptphase eines magnetosphärischen Teilsturms. Die Korona zeigt sich strahlenartig von einem Punkt ausgehend. Sind alle Lichtstrahlen

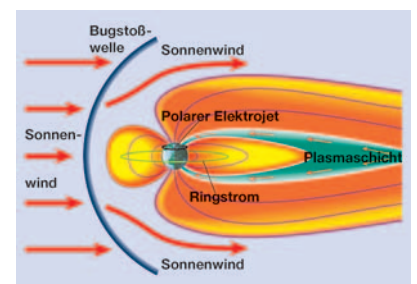


Abb. 2: Auf der sonnenzugewandten Seite hat das Magnetfeld eine Ausdehnung von etwa 15 Erdradien, auf der abgewandten dagegen von etwa 1000 und bildet einen sog. Magnetosphärenschweif. Stromsysteme im Erdmagnetfeld (schwarzer bzw. grüner Ring) verursachen magnetische Stürme. Und aus der Plasmaschicht einfallende Sonnenwindpartikel (rote Pfeile) lösen Polarlichter aus (aus: Physik in unserer Zeit, Heft 5/2000, S. 223).

Weitere Infos, Vorhersagen und Bilder im Internet unter: www.saevert.de/aurora.htm oder www.meteoros.de/polar/polar.htm

gleich hell, hat man den Eindruck eines Vorhangs. Er bewegt sich schnell hin und her und ist meist nur einige 100 m dick, jedoch mehrere 100 km hoch. Nach Mitternacht nimmt die Intensität des Polarlichts stark ab – zurück bleibt ein blasser Schleier am Himmel.

Gün, rot und blauviolett

Die verschiedenen Farben des Polarlichts hängen von der in der jeweiligen Atmosphärenhöhe vorhandenen Gasart und von der Energie der ionisierenden Sonnenwind-Teilchen ab. Das Aurora-Spektrum ist deshalb nicht so umfassend wie das des Sonnenlichts. Die am häufigsten auftretende Farbe ist ein blasses, fahles Gelbgrün mit einer Wellenlänge von 557,7 nm, hervorgerufen durch Sauerstoffatome in ca. 100 km Höhe. Dieselben Atome in der Höhe von 300 km erzeugen das seltene rote Licht mit 630 nm. Elektronen mit höherer Energie dringen tiefer in die Atmosphäre ein und erzeugen mit Stickstoffmolekülen rosarotes bis violettes Leuchten, Zusammenstöße mit ionisierten Stickstoffmolekülen sorgen für ein blauviolett Licht.

Neueste Ergebnisse

Rätselhaft war bisher, warum Polarlichter mitunter von seltsamen dunklen Bereichen durchrissen sind, den so genannten schwarzen Aurorae. Ein schwedisch-britisches Forscherteam um Göran Marklund konnte nun mithilfe der vier Cluster-Satelliten der Europäischen Weltraumorganisation ESA dieses Phänomen genauer studieren.^{*)} Die Satelliten Rumba, Salsa, Samba und Tango durchflogen im Januar 2001 zufällig im Abstand von 100 Sekunden ein ungewöhnlich hohes Nordlicht in 21 600 km Höhe (Abb. 3). Dadurch ließ sich der zeitliche Ablauf der elektrischen Verhältnisse, die ein Polarlicht begleiten, erfassen. Während die ersten drei Sonden noch einen aufwärts gerichteten Elektronenstrom und ein ansteigendes elektrisches Feld registrierten, konnte der vierte Satellit Tango, als er die Stelle erreichte, weder Elektronen noch Feld feststellen. Das Feld wuchs also so lange an, bis die Elektronen aus diesem Teil der Ionosphäre verschwunden waren. Innerhalb von 200 Sekunden war ein Stromkreis entstanden und anschließend wie-

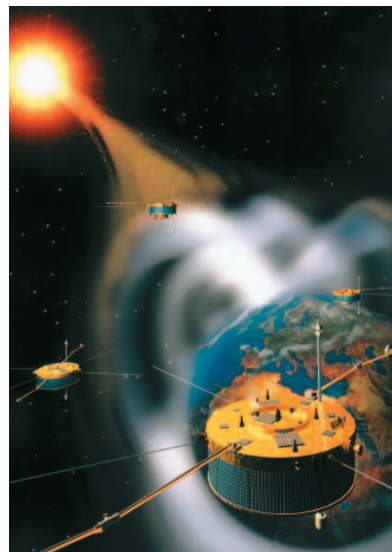


Abb. 3: Im Januar 2001 durchflogen die vier Satelliten Rumba, Salsa, Samba und Tango ein ungewöhnlich hohes Nordlicht. Dabei haben sie den zeitlichen Ablauf der elektrischen Verhältnisse gemessen. Ergebnis: Polarlichtern liegt ein geschlossener Stromkreis zugrunde. (Quelle: ESA)

^{*)} Nature 414, 724 (2001)

Dr. Ulrich Kilian,
science & more
redaktionsbüro,
uk@science-and-
more.de

der verschwunden. Polarlichtern liegt also in der Tat ein geschlossener Stromkreis zugrunde: Die in die Magnetosphäre und Ionosphäre eindringenden Elektronen werden wieder zurück ins All gelenkt und lösen sich dabei von den Magnetfeldlinien, entlang derer sie sich zur Erde hin bewegten. Genau in dieser Zeit war wohl am Erdboden die schwarze Aurora zu sehen.

ULRICH KILIAN