

Polarlicht

Forschungs-Info (Aug./99)

Polarlichter, die flackernden und wehenden Lichtschleier am nördlichen Himmel, haben die Menschen schon immer fasziniert. In früheren Zeiten, als es noch keine Erklärung für dieses Naturschauspiel gab, wurde es häufig mit Furcht und Schrecken registriert und als Vorzeichen für Katastrophen und Krieg angesehen oder auch als Zeichen Gottes, das die Menschen zur Buße ermahnen sollte. Entsprechende Texte finden sich auf vielen Flugblättern des 16. und 17. Jahrhunderts, die das Gesehene darstellen (Abb.1).

Obwohl sich schon griechische und römische Gelehrte, wie z.B. Aristoteles und Seneca, mit dem Polarlicht beschäftigten, wurden erst im 18. Jahrhundert Deutungsversuche unternommen. Viele Forscher gingen zunächst davon aus, daß es sich bei dem Leuchten um Sonnenlicht handle, das an Eiskristallen, Wolken oder atmosphärischen Gasen reflektiert werde. Erst der schwedische Physiker Angström folgerte 1867 aus der Spektralanalyse des Polarlichts, daß es von einem selbstleuchtenden Gas stammen müsse und kein reflektiertes Sonnenlicht sein könne. Abb. 2 zeigt ein eindrucksvolles Beispiel eines grünen Polarlichts.



Abb. 1 Flugblatt aus dem Jahre 1580, das ein Polarlicht über Augsburg darstellt (Zentralbibliothek, Zürich).



Abb. 2 Polarlicht über Finnland

Entstehung des Polarlichts

Letztlich wird das Polarlicht doch von der Sonne verursacht, wenn auch auf etwas kompliziertere Weise als die frühen Forscher annahmen.

Neben dem Licht und der Wärme, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen können, strömen von der Sonne ständig geladene Teilchen ab, der **Sonnenwind**. Er besteht hauptsächlich aus **Protonen** und **Elektronen** und weht mit einer Geschwindigkeit von 400 - 800 km/s auch auf die Erde zu. In Erdnähe stellt das Magnetfeld der Erde ein Hindernis für den Sonnenwind dar. Das Gebiet um die Erde herum, das vom Erdmagnetfeld erfüllt wird, nennt man **Magnetosphäre**. Ohne Sonnenwind wäre sie symmetrisch, wie wir es von den Feldlinien eines Stabmagneten her kennen. Der Sonnenwind jedoch preßt die Magnetosphäre auf der Sonnen-zugewandten Seite (Tagseite) stark zusammen und zieht sie auf der Nachtseite zu einem langen Schweif aus. (Abb. 3).

Aus physikalischen Gründen kann der Sonnenwind nicht direkt in die Magnetosphäre eindringen. Vielmehr strömt er um sie herum, wie ein Fluß um eine darinliegende Insel, nachdem er durch Ausbildung einer Bugstoßwelle von Überschall- auf Unterschallgeschwindigkeit abgebremst wurde.

Den Schweif der Magnetosphäre darf man sich nicht so schön gleichmäßig geformt vorstellen wie in Abb. 3 schematisch darge-

stellt. Tatsächlich flattert er im Sonnenwind wie eine Fahne im irdischen Wind. Durch die dauernden Verformungen können auf komplizierte Weise weit hinten im Schweif Elektronen aus dem Sonnenwind in die Magnetosphäre einsickern. Sie bilden dort in der **Plasmaschicht** ein Teilchenreservoir.

Der an der Magnetosphäre vorbeiströmende Sonnenwind wirkt zusammen mit dem Magnetfeld wie ein Dynamo, der im Inneren der Magnetosphäre ein kompliziertes System von elektrischen Strömen antreibt. Eine Komponente dieser Ströme wird von den Elektronen der Plasmaschicht getragen, wobei diese entlang von Magnetfeldlinien aus dem Schweif auf die Erde zu strömen. Genaugenommen bewegen sich die Elektronen auf spiralförmigen Bahnen um die Magnetfeldlinien, wie in Abb. 3 oben dargestellt. In der Nähe der Erde stoßen diese Elektronen dann auf Gasteilchen der Erdatmosphäre und regen diese zum Leuchten an. Das passiert in einer Höhe von 100 - 300 km über dem Erdboden, dort erscheint daher das Polarlicht.

Abb. 3 zeigt schematisch, daß nur die Feldlinien, die etwas unterhalb der Pole begin-

nen, weit in den Magnetosphärenschweif hineinreichen. Nur an ihnen entlang können sich die Elektronen aus der Plasmaschicht auf die Erde zu bewegen. Daher ist dort, wo diese Feldlinien enden, das Polarlicht am häufigsten. Weder die weiter zum Pol hin noch die weiter zum Äquator hin beginnenden Feldlinien stellen im Normalfall eine Verbindung zur Plasmaschicht her, daher ist dort sehr selten Polarlicht zu sehen.

Dieser Vorgang beschreibt das **Nacht-Polarlicht**, da ja die Elektronen aus dem Schweif zur Nachtseite der Erde strömen. Es gibt aber auch ein **Tag-Polarlicht**. Es entsteht, wenn Sonnenwindteilchen durch den "Spalt" eindringen, der zwischen den nach hinten und den nach vorn gebogenen Magnetfeldlinien besteht. Dieses Tag-Polarlicht kann nur in etwa 75° nördlicher oder südlicher Breite während des Polarwinters beobachtet werden, wenn es dort 24 Stunden lang dunkel ist.

Da die Magnetosphäre ein dreidimensionales Gebilde ist (Abb. 3 stellt einen Längsschnitt dar), stellt der Bereich, in dem die Polarlichter am häufigsten sind, ein ringförmiges Gebiet dar, in dessen Mitte der magnetische Pol liegt.

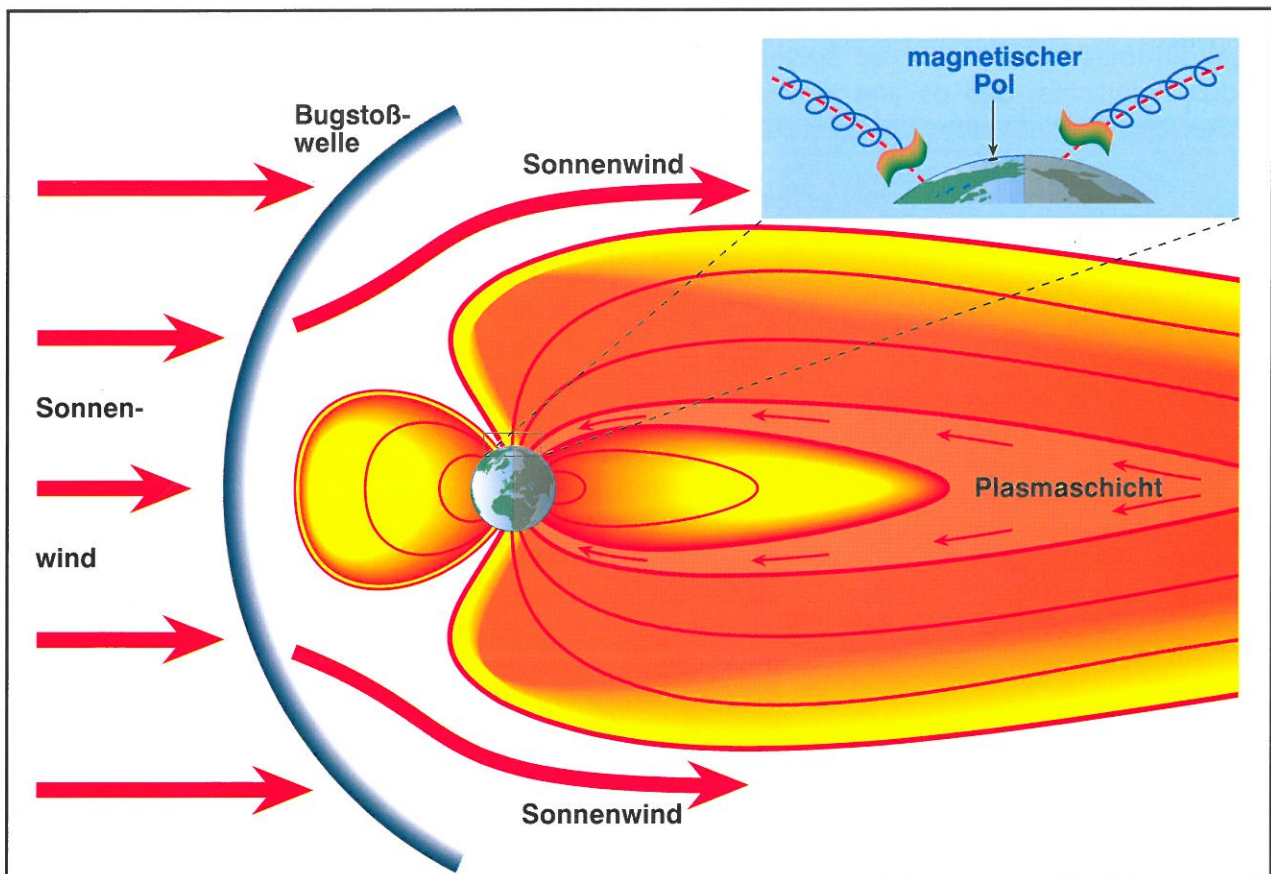


Abb. 3 Vorgänge um und in der irdischen Magnetosphäre, die zum Polarlicht führen. Elektronen aus der Plasmaschicht bewegen sich auf Spiralbahnen um die Magnetfeldlinien (rot) zur Erde hin und stoßen auf Gasteilchen der Atmosphäre, die zum Leuchten angeregt werden (Insert oben rechts).

Innerhalb dieses **Polarlichtovals** kann man nahezu jede Nacht Polarlichter beobachten. Besonders deutlich kann diese leuchtende "Krone" der Erde von Satelliten aufgenommen werden, die aus großer Höhe auf die Pole herunterschauen (Abb. 4).

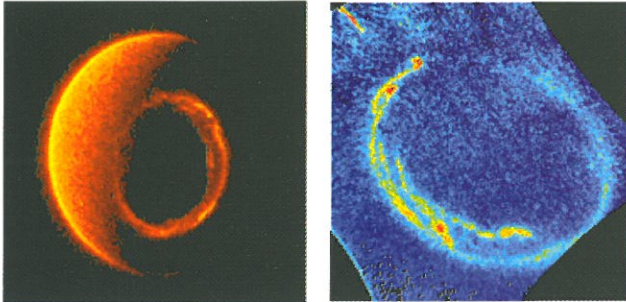


Abb. 4 Satellitenaufnahmen des Polarlichtovals. **Links** (Dynamics Explorer I, USA): aus 21000 km Höhe. Der helle Rand auf der linken Seite ist die von der Sonne beschienene Tagseite der Erde. **Rechts** (Viking, Schweden): aus etwa 6000 km. Die Farben geben in diesem Fall die Intensität der Ultraviolettstrahlung des Polarlichts wieder. In beiden Fällen liegt der magnetische Nordpol im Zentrum des Ovals.

In der Geophysik wird stets der Begriff "Polarlicht" benutzt und nicht der umgangssprachlich geläufigere Ausdruck "Nordlicht". Wie aus Abb. 3 ersichtlich, reichen Magnetfeldlinien aus der Plasmaschicht auch bis in die Nähe des Südpols. Dort spielen sich genau die gleichen Vorgänge ab wie auf der Nordhalbkugel der Erde. Es gibt dort also ein Südlicht. Seefahrer und Forschungsreisende haben dieses Südlicht zum ersten Mal beschrieben. Sie nannten es '**aurora australis**' im Gegensatz zur '**aurora borealis**' der Nordhalbkugel. Im Deutschen hat sich der Begriff "Polarlicht" eingebürgert, damit werden beide Phänomene gleichzeitig beschrieben. In der englischen Sprache hat sich die Bezeichnung 'aurora' erhalten.

Abb. 3 erklärt noch nicht, warum auch in unseren Breiten Polarlicht vorkommt, wenn auch sehr selten. Der Sonnenwind strömt nicht immer stetig und ruhig. Besonders zu Zeiten der aktiven Sonne ereignen sich kolossale Explosionen in der Sonnenatmosphäre, die **koronalen Massenauswürfe**. Dadurch wird der Sonnenwind "böig" oder gar zum Sturm. Die Magnetosphäre der Erde wird bei so einem Sonnensturm besonders stark verformt und durchgeschüttelt. Das hat zur Folge, daß sich die Plasmaschicht weiter zur Erde hin ausbreitet. Dadurch gelangen Magnetfeldlinien in ihren Einflußbereich, die viel weiter äquatorwärts

beginnen, als diejenigen, an denen die Elektronen normalerweise entlangströmen. Das bedeutet, daß sich das Polarlichtoval weiter nach Süden ausbreitet als beim ruhigen Sonnenwind. Dadurch können auch bei uns in Deutschland (Abb. 6), bei sehr starken Sonnenstürmen sogar im Mittelmeerraum, Polarlichter beobachtet werden.

Die Sonne durchläuft einen Aktivitätszyklus von 11 Jahren, im Jahre 2000 wird wieder ein Aktivitätsmaximum erreicht sein. In den nächsten Jahren können also vermutlich auch bei uns wieder Polarlichter beobachtet werden.

Farben und Formen des Polarlichts

Die Farbe des Polarlichts hängt von der Energie der einfallenden Elektronen ab und von den atmosphärischen Gasteilchen, die getroffen werden. Der vorherrschende Farbton ist grün (Wellenlänge 557,7 nm), der entsteht, wenn Sauerstoffatome von den stoßenden Elektronen zum Leuchten angeregt werden (Abb. 2). Rotes Licht (Wellenlänge 630 nm) wird ebenfalls von atomarem Sauerstoff emittiert. Stickstoffmoleküle emittieren vorwiegend blaue und violette Farbtöne (Abb. 5).



Abb. 5 Polarlicht mit roten, blauen und violetten Farbtönen.

Kommt in unseren Breiten Polarlicht vor, so erscheint es meistens rötlich (Abb. 6). Daher brachten unsere Vorfahren es mit Blut in Verbindung und sahen es häufig als Vorzeichen für Krieg an.



Abb. 6 Polarlicht aufgenommen in Katlenburg-Lindau während einer aktiven Periode der Sonne im Oktober 1989.

Die Form des Polarlichts wird durch die geometrische Verteilung der Ströme geprägt, die aus der Plasmaschicht zur Erde hin fließen. Im Fall des ruhigen, stetigen Sonnenwindes beobachtet man häufig einen stabilen Polarlichtbogen, der in west-östlicher Richtung den nördlichen Himmel überspannt. Treten dann "Böen" im Sonnenwind auf, so verformt sich der Bogen, es entstehen Falten und Beulen (Abb. 2). Man spricht dann von Bändern, denn wie ein Leuchtband huschen diese Leuchterscheinungen über den Himmel. Oft sind es auch wellenförmige Strukturen, die von Ost nach West über den Himmel laufen. Ein Photo kann niemals die vielfache Dynamik dieser Leuchterscheinung wiedergeben. Die stark variierenden Polarlichter treten meist gegen Mitternacht oder am frühen Morgen auf, die ruhigen Bögen beobachtet man meist am frühen Abend.

Forschungen am MPAE

Polarlichter stellen nur einen Aspekt der **Sonne-Erde-Beziehungen** dar. Mit ihnen im Zusammenhang stehen **magnetische Stürme**, die durch hohe elektrische Ströme in der Ionosphäre hervorgerufen werden. Am Max-Planck-Institut für Aeronomie werden vor allem die Vorgänge untersucht, die im Zusammenhang mit Polarlichtern stehen, nicht die eigentliche Leuchterscheinung. Benutzt werden dazu vor allem komplizierte Radargeräte, mit denen verschiedene Parameter des Ionosphärenplasmas untersucht werden. In dieses Plasma, ein Gemisch aus elektrisch geladenen und neutralen Teilchen, ist das Polarlicht eingebettet.

Die Elektronen, die das Polarlicht auslösen, werden mit Instrumenten, die auf Satelliten installiert sind, untersucht. Es sind komplizierte

Teilchenanalysatoren, mit denen die Energie und die Flugrichtung der Elektronen, aber auch Energie, Masse und Ladung von Ionen bestimmt werden. Letztere spielen bei den Strömen in der Magnetosphäre ebenfalls eine wichtige Rolle. Zur Leuchterscheinung tragen Ionen nur selten bei, lediglich bei sehr starken Störungen auf der Sonne kann es zu rotem **Protonenpolarlicht** kommen.

Die Polarlichter selbst werden von bodengebundenen Instrumenten des MPAE in Nordskandinavien registriert. Dabei werden **All-Sky Kameras** eingesetzt. Dieses Aufnahmesystem bildet über einen konvex gekrümmten Spiegel den gesamten Himmel in die Kamera ab. Die komplizierten Formen des Polarlichts lassen sich so vollständig erfassen. Mit Hilfe von Rechenprogrammen werden diese Bilder, den oben erwähnten Radarmessungen zugeordnet, woraus Informationen über die Bedingungen gewonnen werden, unter denen sie entstehen.

M. Kosch, K. Schlegel

Internet Seiten über Polarlichter:

<http://www.geo.mtu.edu/weather/aurora>

<http://dac3.pfrr.alaska.edu:80/~pfrr/AURORA>

<http://conan.phys.uit.no/kosmic/aurora.htm>

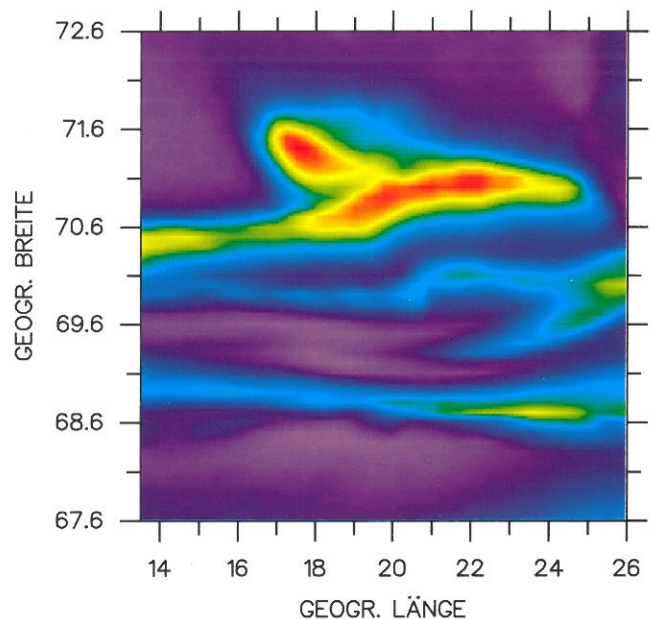


Abb. 7 Polarlichtaufnahme mit der All-Sky Kamera DASI des MPAE über Nordskandinavien. Es kann ein Bereich von etwa 520 x 550 km erfaßt werden. Das Bild zeigt Falschfarben, d.h. die Polarlichtintensität ist farbkodiert (rot: hell, blau: dunkel).