

Wie kommt es in Niedersachsen zu Polarlichtern?

Mareike Soyck und Jonathan Ben Tov

9. Fellow-Treffen des Netzwerk Teilchenwelt in Münster

Polarlichter in Niedersachsen

Ende Februar dieses Jahres konnten in weiten Teilen Norddeutschlands Polarlichter beobachtet werden. Eine Sonneneruption führte dazu, dass diese meist in den Polregionen auftretenden Himmelserscheinungen deutlich südlicher als gewöhnlich zu erblicken waren. Durch die Sonneneruption war die Dichte solarer Teilchen, die auf die Erde treffen, erheblich höher, sodass es auch auf den Breitengraden Norddeutschlands zu einer sichtbaren Anzahl an Anregungen von Stickstoff- und Sauerstoffatomen in der Hochatmosphäre kam. Um zu verstehen, wie es zu Sonneneruptionen und damit zu Polarlichtern außerhalb der Polarregionen kommt, betrachten wir zunächst die Sonne.



Abbildung 1

Aufbau der Sonne

Die aus Plasma und damit freien Ladungsträgern bestehende Sonne wird meist in verschiedene Schalen aufgeteilt: Im sehr dichten Kern findet die Kernfusion statt. Die dabei frei werdende Energie wird zunächst in Form von Röntgenstrahlung durch die Strahlungszone transportiert. In der Konvektionszone erfolgt der Energietransport durch Konvektionsströme des Plasmas. Heißes Plasma von dem Boden der Konvektionszone steigt auf und strahlt seine Wärme in das All ab. Das nun abgekühlte Plasma sinkt nun wieder ab. Die dabei entstehenden Konvektionszellen können auch auf der Fotosphäre, welche als Entstehungsort des sichtbaren Lichtes die für uns sichtbare Sonnenoberfläche bildet, beobachtet werden.

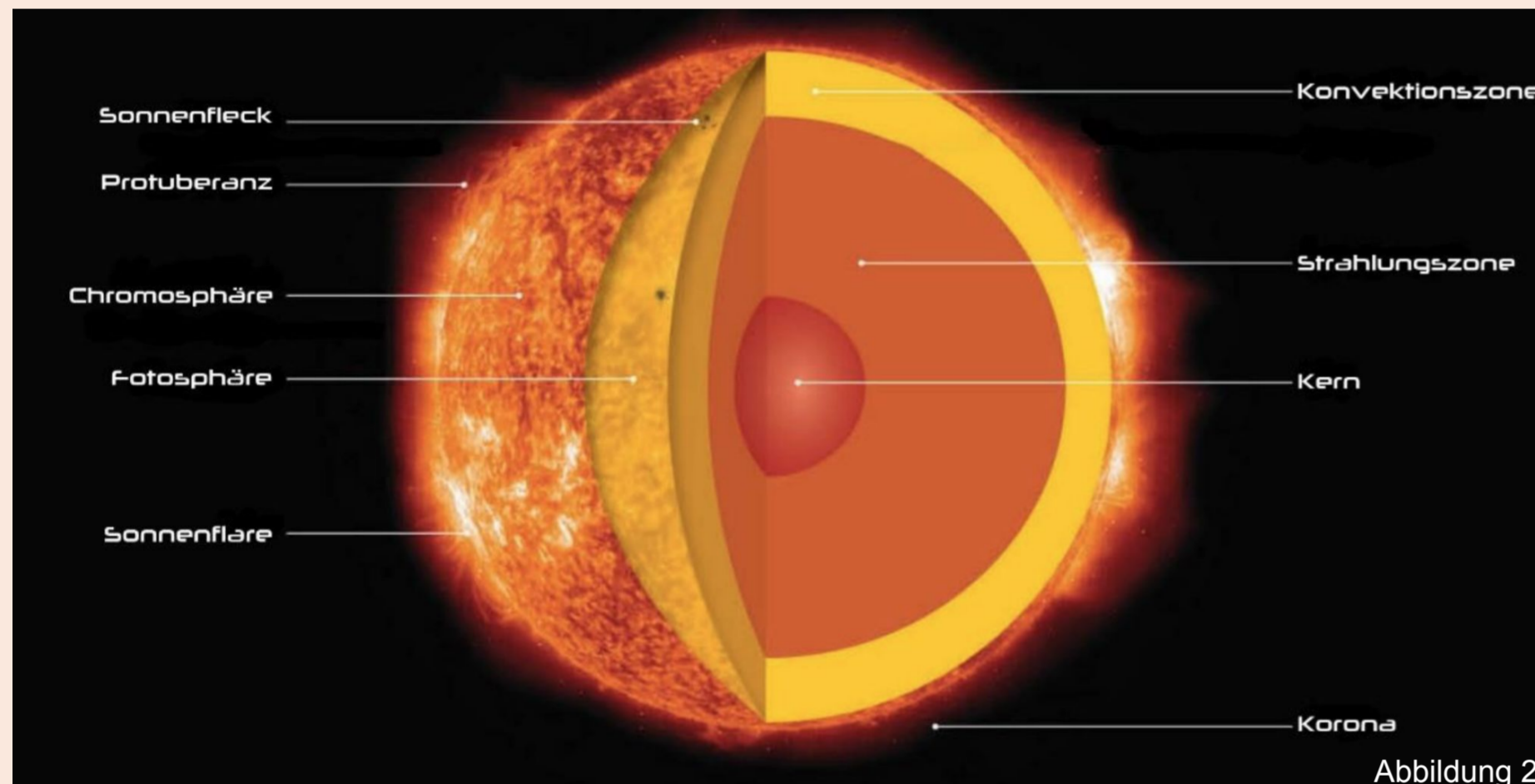


Abbildung 2

Sonnenflecken

Betrachtet man die Sonnenoberfläche, so lassen sich auf ihr vor allem in Äquaturnähe dunkle Flecken beobachten. Diese Flecken werden Sonnenflecken genannt und sind mit ca. 4000K deutlich kälter als ihre ca. 6000K warme Umgebung. Bereits 1908 konnte der amerikanische Astrophysiker Georg Ellery Hale nachweisen, dass Sonnenflecken Orte mit einem starken Magnetfeldes sind. Dies war der erste Nachweis eines Magnetfeldes außerhalb der Erde. Bei genaueren Betrachtungen lässt sich feststellen, dass Sonnenflecken immer in Paaren mit entgegengesetzter magnetischer Polung auftreten. Erklären lässt sich das dadurch, dass Magnetfeldlinien des solaren Magnetfeldes an der Stelle des ersten Sonnenflecks die Sonnenoberfläche "durchstechen" und im zweiten Sonnenfleck des Paares wieder in die Sonne eintreten. Dies behindert die Konvektionsströme, was an diesen Stellen zu einer kälteren Sonnenoberfläche und somit zu weniger abgestrahltem Licht führt. So entsteht der Eindruck von dunklen Sonnenflecken.

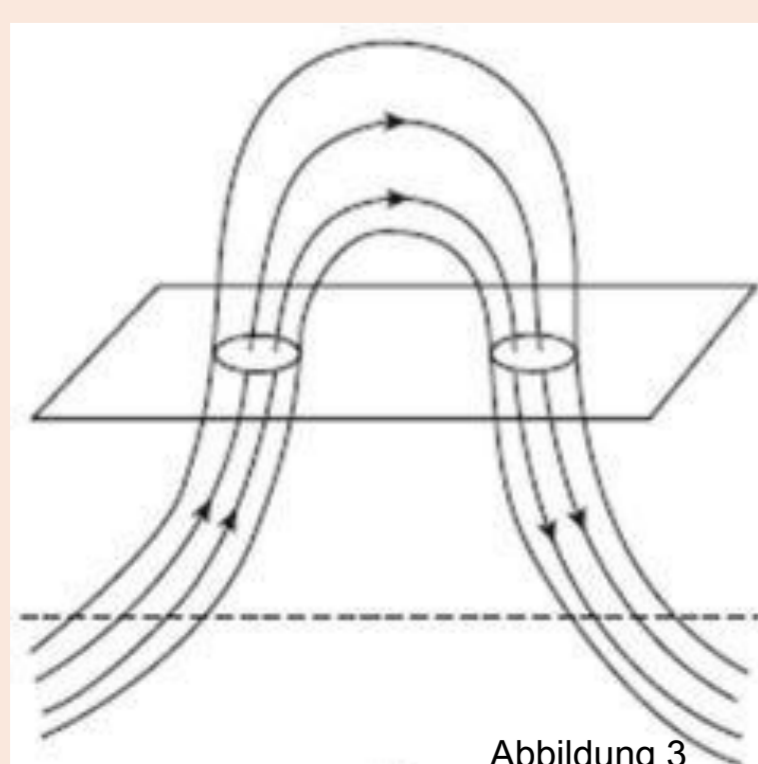


Abbildung 3

Sonnenzyklus

Betrachtet man die Sonnenfleckenpaare noch genauer, so stellt man fest, dass die zusammengehörigen Sonnenflecken stets ungefähr auf dem gleichen Längengrad liegen. Die Sonne muss also ein Magnetfeld haben, welches parallel zum Äquator ausgerichtet ist, also ein toroidales Feld. Als Indikator für die Stärke dieses Feldes lässt sich die Anzahl der Sonnenflecken heranziehen. Gleichzeitig lässt sich an der Sonne auch ein poloidales Feld, also ein Feld zwischen den Polen, messen. Tragen wir nun die Stärke des poloidalen Feldes (an den Polen) und die Anzahl der Sonnenflecken, also die Stärke des toroidalen Feldes, gegen die Zeit auf, so erhalten wir Abbildung 4.

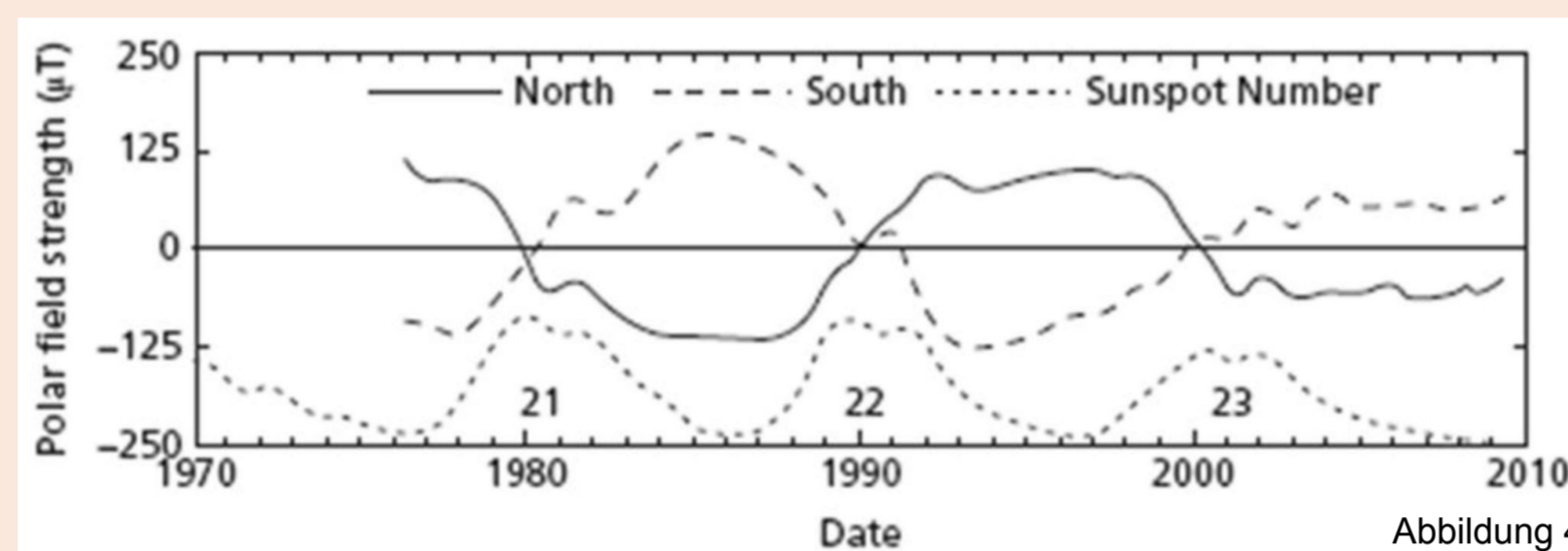


Abbildung 4

Es fällt auf, dass das toroidale Magnetfeld genau dann am stärksten ist, wenn das poloidale Magnetfeld am schwächsten ist und umgekehrt. Das legt nahe, dass diese beiden Magnetfeldkomponenten ineinander umgewandelt werden. Auch fällt auf das sowohl die Umpolung des solaren Magnetfeldes als auch die Anzahl der Sonnenflecken einem circa 11-jährigen Zyklus folgen. Diesem Sonnenzyklus folgen auch weitere Phänomene.

Alfvénsche Theorem

Da das Plasma der Sonne aus bewegten Ladungsträgern besteht, welche Magnetfelder induzieren, welche wiederum das Plasma beeinflussen, braucht man für die Berechnung der Vorgänge an der Sonne die Magnetohydrodynamik. Eins der Theoreme der Magnetohydrodynamik ist das Alfvénsche Theorem, das besagt, dass sich in einem Plasma mit unendlicher Leitfähigkeit das Plasma und das Magnetfeld zusammen bewegen. Die Magnetfeldlinien sind also im Plasma eingefroren. Für beinahe unendlich leitenden Plasmen gilt dies ebenfalls näherungsweise. Im Fall der Sonne ist das Plasma nahezu unendlich leitend, wenn man Vorgänge betrachtet, die nicht in für Verhältnisse der Sonne sehr kleinen räumlichen Größenordnungen stattfinden.

Alpha-Omega-Dynamo

Ein magnetisches Dynamo ist die am weitesten verbreitete Möglichkeit verschiedene Phänomene im Zusammenhang mit dem solaren Magnetfeld zu erklären. Dies würde auch erklären, wie sich das Magnetfeld der Sonne selbst erhält und nicht abklingt. Dabei wird betrachtet, wie das toroidale und das poloidale Magnetfeld jeweils ineinander umgewandelt werden. Das Alpha-Omega-Dynamo ist dabei das am weitesten verbreitete Dynamo Modell für die Sonne.

Omega-Effekt

Der ω -Effekt erklärt, wie das poloidale Feld in ein toroidales Feld umgewandelt wird und ist dabei relativ unumstritten. Da die Sonne kein fester Körper ist, rotiert sie je nach Breitengrad mit unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten. Da das Magnetfeld aber nach dem Alfvénschem Theorem im Plasma eingefroren ist, wird es um die Sonne gewickelt und besitzt nun einen toroidalen Anteil, wie in Abbildung 5 zu sehen.

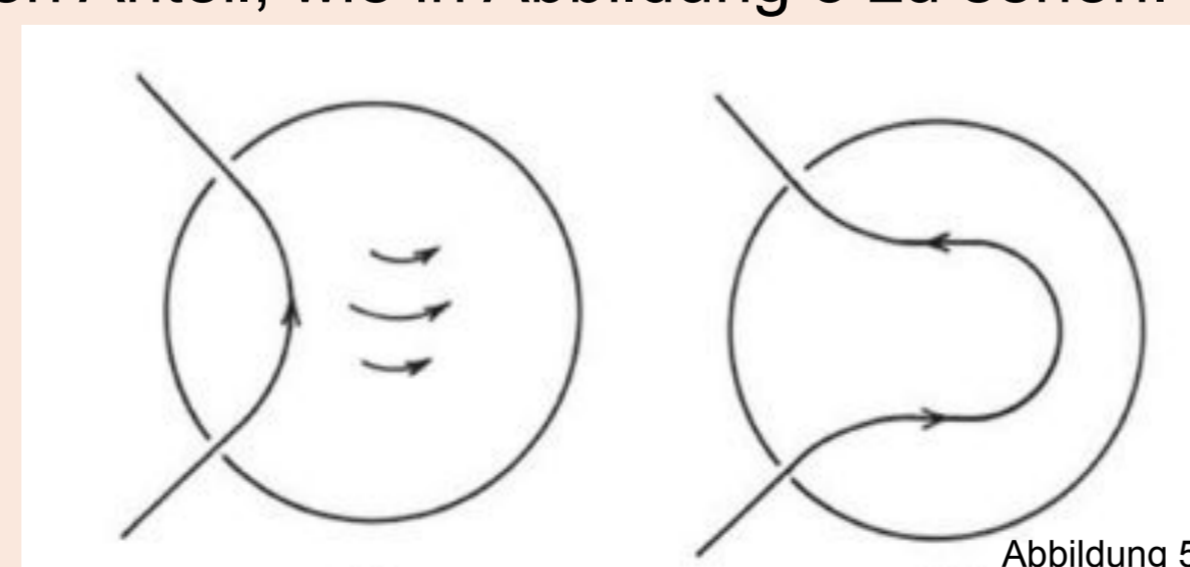


Abbildung 5

Alpha-Effekt

Für den α -Effekt gibt es verschiedene Ansätze. Sie alle gehen davon aus, dass Turbulenzen zu lokalen poloidalen Feldern führen, die sich zu einem globalen poloidalen Feld verbinden. Eine mögliche Erklärung für die Turbulenzen wären verschiedene Winkelgeschwindigkeiten bei der Rotation der Sonne nach der Tiefe, aber nur am Boden der Konvektionszone ist die Änderung ausreichend groß.

Magnetische Rekonnexion

Durch die Plasmaströme in der Sonne kann es dazu kommen, dass zwei gegeneinander gepolte Sonnenflecken "zusammengedrückt" werden und mit ihnen die in ihnen eingefrorenen Magnetfelder. Da sich die Magnetfeldlinien immer näher zusammen bewegen, wird das relevante System immer kleiner. Es kommt dazu, dass nach einer gewissen Annäherung nicht mehr von einem unendlich leitenden Plasma ausgegangen werden darf. Nun können sich die Magnetfeldlinie wie in der Abbildung 6 zu sehen verkürzen, weil sie nicht mehr im Plasma eingefroren sind. Dabei wird die zuvor im Magnetfeld gespeicherte Energie frei.

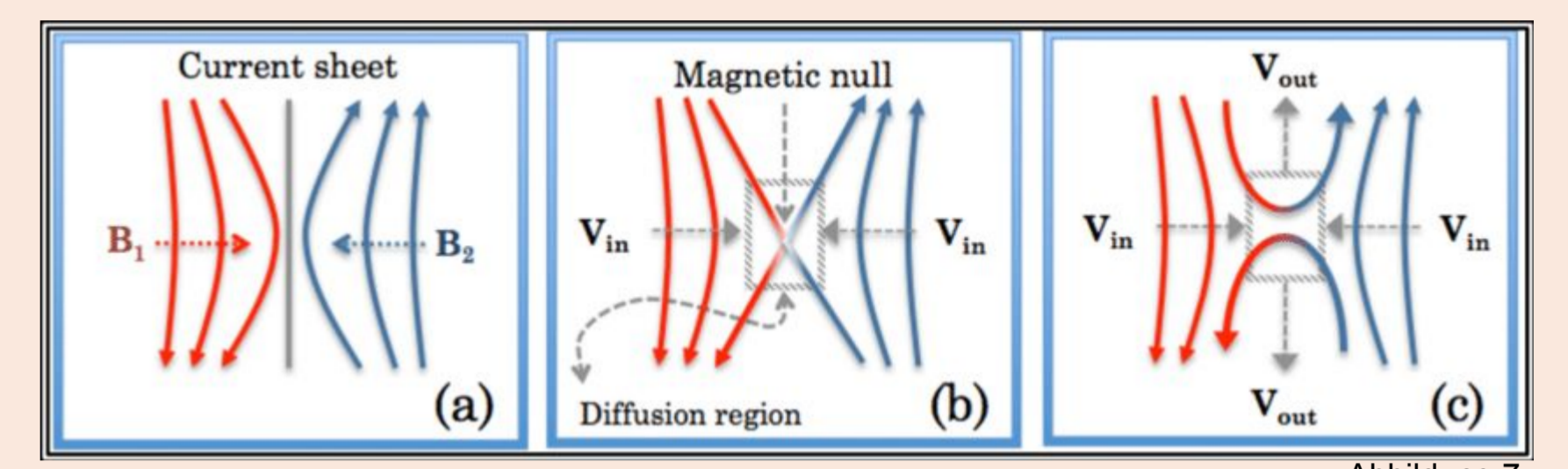


Abbildung 6

Sonneneruption

Das Freiwerden der Energie bei der magnetischen Rekonnexion führt dazu, dass Teilchen (vor allem Protonen) in alle Richtungen geschleudert werden. Diejenigen Teilchen, die dabei in Richtung der Sonne beschleunigt wurden, werden in der Sonne abgebremst, wodurch es zu Bremsstrahlung kommt. Diese Bremsstrahlung liegt vor allem im Röntgenbereich und erreicht als Röntgenblitz die Erde. Diese als Flares bezeichneten Röntgenblitze sind die ersten auf der Erde oder Satelliten detektierbare Phänomene einer Sonneneruption. Das im Magnetfeld mitgeführte Plasma kann als Plasmawolke ins All geschleudert werden. Man spricht von einem koronalen Massenauswurf (kurz CME). Bei einem CME werden mehreren Milliarden Tonnen an Plasma ins All geschleudert, die sich über einen sehr großen Raum verstreuen und so eine sehr geringe Dichte haben. Für die Strecke von der Sonne zur Erde braucht ein CME ca. 1 bis 2 Tage, wobei die nur sehr wenige CMEs die Erde überhaupt treffen.

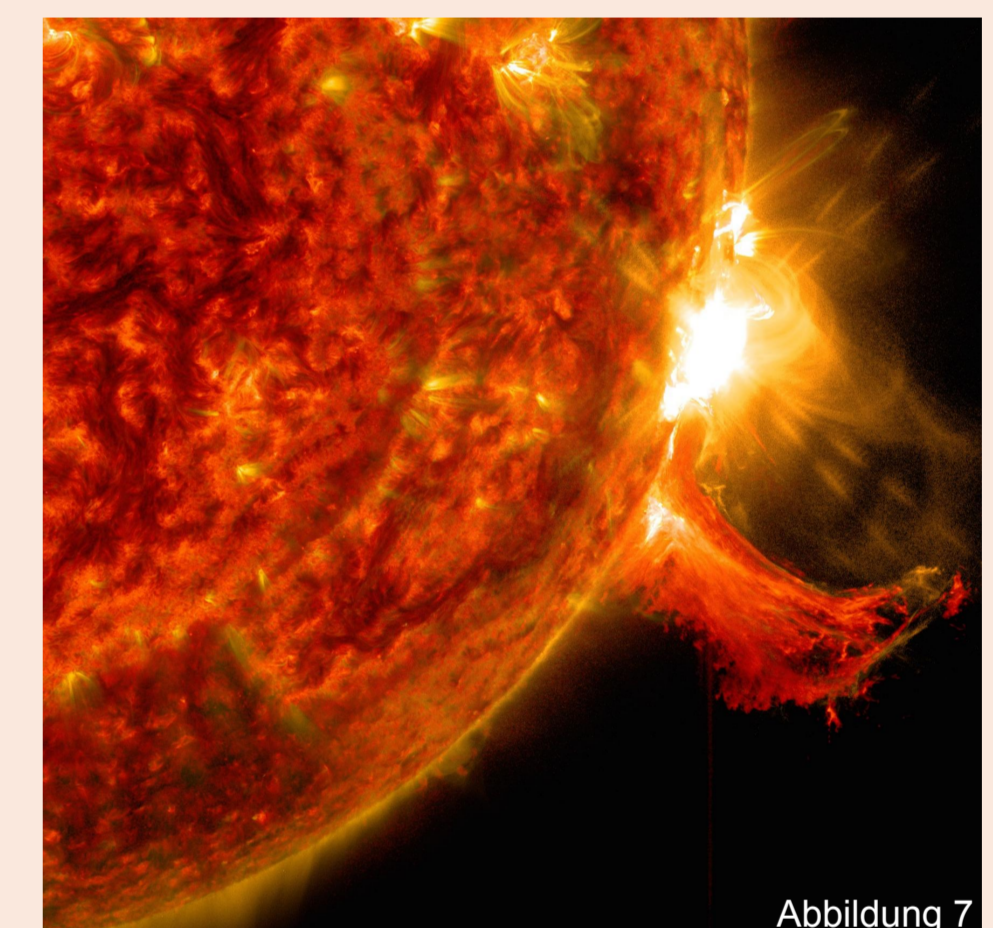


Abbildung 7

Polarlichter

Die in der Hochatmosphäre eintreffenden Teilchen können dort Sauerstoff und Stickstoffatome anregen. Dabei wird die Energie an ein Elektron in der Hülle übertragen, bei dem Übergang bzw. Übergängen zurück in den Ausgangszustand wird die frei werdende Energie als Licht abgestrahlt. Das Erdmagnetfeld lenkt eintreffende Teilchen in Richtung der Pole, weshalb es dort regelmäßig Polarlichter gibt. Nur bei (stärkeren) Sonneneruptionen, also einer deutlich erhöhten Teilchenanzahl, kommt es dazu, dass Polarlichter auch in unseren Breitengraden also z.B. in Niedersachsen beobachtet werden können.

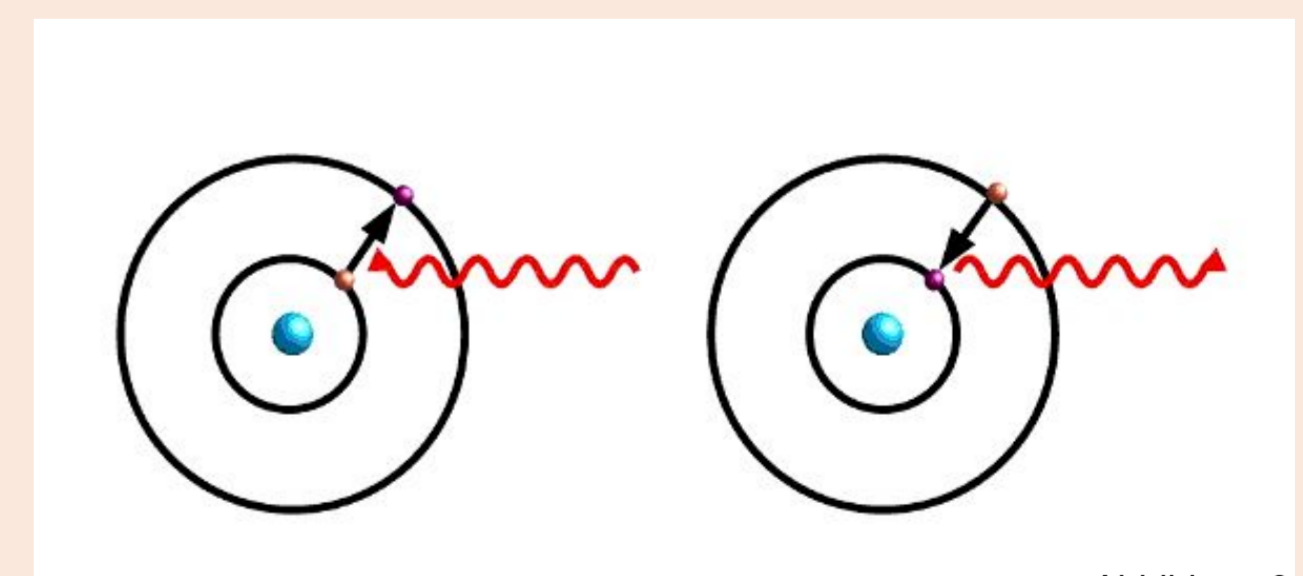


Abbildung 8

Quellen

