



Sonnenstürme – von der Entstehung bis zur Erdatmosphäre

Facharbeit zum Seminarfach Astronomie

Cecilia Bei der Kellen

Abgabetermin: Bramsche, den 04.03.2020
Fachlehrer: Florian Riemer
Greselius-Gymnasium
Schuljahr 2019/20

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	2
2. Die Sonne	3
2.1. Die Sonnenatmosphäre	3
2.2. Der Sonnenzyklus.....	4
2.3. Das interplanetare Magnetfeld	5
3. Die Stürme auf der Sonne	6
3.1 Ursachen für einen geomagnetischen Sturm	6
3.1.1. Der Ursprung der koronalen Massenauswürfe.....	8
3.2 Verlauf eines geomagnetischen Sturms.....	8
3.2.1 Das Erdmagnetfeld im Sonnensturm	9
3.2.2 Überwindung des irdischen Magnetfeldes	10
4. Die Dynamik des Weltraumwetters.....	10
4.1. Die Eigenschaften des Sonnenwindes.....	11
4.2. Weltraumwetterbeobachtung	11
4.2.1. Satelliten als globale Wächter.....	12
5. Fazit: Die Ruhe vor dem Sonnensturm?	12
6. Literatur- und Quellenverzeichnis	14
6.1. Literaturverzeichnis.....	14
6.2. Quellenverzeichnis	14
7. Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit	16
8. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung.....	16

1. Einführung

Die Sonne wird mit einem riesigen, ruhig vor sich hin leuchtenden Stern in Verbindung gebracht. Daneben wird sie im Vergleich zu anderen Sternen in unserer Galaxie als Zwergstern bezeichnet. Sie ist aber gefährlicher als man annimmt, da sich auf ihr Vorgänge, wie beispielsweise Eruptionen, koronale Massenauswürfe, weltraumwetterbestimmende Sonnenwinde, sowie einen von ihr ausgelösten geomagnetischen Sturm, der große Einflüsse auf die Erde hat, abspielen. In der vorliegenden Arbeit werden zunächst diese Aspekte, die mit den Sonnenstürmen und seinem Weg zur Erdatmosphäre in Verbindung stehen, herausgearbeitet. Anschließend wird auf die Methoden der ESA(European Space Agency) und NASA(National Aeronautics and Space Administration) zur Weltraumwetterbeobachtung Bezug genommen. Im Kapitel 2 werden zentrale Bestandteile der Sonne, wie der Aufbau der Sonnenatmosphäre, der Sonnenzyklus, so wie ihr gigantisches Magnetfeld, erklärt. Diese spielen bei der Entstehung und dem Verlauf der Sonnenstürme eine wichtige Rolle. Im nächsten Kapitel wird auf das Hauptthema eingegangen. Hier werden zunächst die Ursachen zur Entstehung der Sonnenstürme erläutert und in einem weiteren Unterkapitel wird auf den Ursprung der koronalen Massenauswürfe eingegangen. Koronale Massenauswürfe stehen im Zusammenhang mit dem zuvor erwähnten interplanetaren Magnetfeld. Anschließend wird auf den Verlauf eines geomagnetischen Sturms eingegangen, bei dem aufgrund seiner Auswirkungen auf das irdische Magnetfeld, der Sonnensturm im Erdmagnetfeld genauer beleuchtet wird. Dies geschieht am Beispiel des Sonnensturms am 14. Juli 2000, der als der stärkste geomagnetische Sturm des Jahrzehnts verzeichnet wurde. Im letzten Kapitel wird auf die Dynamik des Weltraumwetters im interplanetaren Raum Bezug genommen, da Vorgänge auf der Sonne wie diese das Weltraumwetter bestimmen. Im Zusammenhang auf die Dynamik des Weltraumwetters, wird auf die Eigenschaften der Sonnenwinde eingegangen, da diese zentraler Bestandteil des Weltraumwetters sind und diesen mit ihren Eigenschaften beeinflussen. Dementsprechend wird anschließend auf die Methoden der Weltraumwetterbeobachtung mit Satelliten eingegangen, die entscheidend für das Feststellen von geomagnetischen Stürmen sind. Der Schwerpunkt der vorliegenden

Seminararbeit liegt in der Entstehung der Sonnenstürme im Zusammenhang mit dem interplanetaren Magnetfeld und der Sonnenaktivität und dem tatsächlichen geomagnetischen Sturm in der irdischen Magnetosphäre.

2. Die Sonne

2.1. Die Sonnenatmosphäre

Die Atmosphäre der Sonne gliedert sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Strahlungseigenschaften von innen nach außen in folgende Atmosphäreschichten: Die Photosphäre, die Chromosphäre und die Korona.¹

Bei der Sonne handelt es sich um einen brodelnden Gasballon, mit keiner festen Oberfläche. In ihr befindet sich ein Fusionsreaktor, bei dem ständig Wasserstoff in Helium umgewandelt wird. Die entstehende Energie wird als Sonnenlicht an der Photosphäre der Sonne sichtbar.²

Die Photosphäre wird als Oberfläche der Sonne gesehen, denn sie gilt wie gesagt als Quellschicht der Sonnenstrahlung. Somit wird ab ihr der Radius gemessen, der um die 696.340 km beträgt. Auf der Photosphäre lassen sich verschiedene Aktivitäten der Sonne beobachten, besonders entscheidend sind die Sonnenflecken, auf die in diesem Kapitel ebenfalls eingegangen werden. Die darauffolgende Chromosphäre ist aufgrund ihrer Breite von 10 Tausend Kilometern zwar mächtiger als die Photosphäre, wird aber aufgrund ihrer geringen Dichte, die für die Abstrahlung der Chromosphäre verantwortlich ist, von der Photosphäre überstrahlt. Die Chromosphäre ist nur bei einer Mondfinsternis zu erkennen, bei der die Photosphäre bedeckt wird. Die Korona bildet die äußerste Schicht der Sonnenatmosphäre und ist bei totalen Sonnenfinsternissen als einen weiß leuchtenden Strahlenkranz sichtbar. Die Temperatur in der Korona beträgt einige Millionen Grad. Diese riesige Wärme entsteht durch Schallwellen, ausgelöst durch die Granulation in der Photosphäre, die über die Spikulen,

¹ <http://www.sternwarte-eberfing.de/>

² <https://www.mpg.de/sonne/sonnenflecken>

eruptive Gasspritzer, in der Chromosphäre weitergeleitet werden.³ Als Granulation bezeichnet man die körnige Struktur der Photosphäre, die durch Störungen in den unteren Photosphäreschichten zurückzuführen sind. Diese werden auch Konvektionsstörungen genannt, da der Ursprung der Granulation in der Konvektionszone der Sonne liegt.⁴ Genauer gesagt, steigen heiße Plasmablase in die Photosphäre auf, kühlen sich wieder ab und sinken wenige Minuten später wieder. Die Sonne brodelt dementsprechend und verleiht dadurch der Photosphäre ihre körnige Struktur.⁵ Der hohe Druck, der in der Korona herrscht, erhitzt dadurch die äußerste Schicht der Sonnenatmosphäre erheblich auf. Die Form der Korona wird von Magnetfeldlinien der Sonne bestimmt, die ihre Stärke mit dem 11-jährigen Sonnenzyklus ändern.⁶

2.2. Der Sonnenzyklus

Die Sonne unterliegt einem globalen Mechanismus, der vom Magnetfeld der Sonne erzeugt wird. Dieser Mechanismus hat eine periodische Variation der Sonnenaktivität zur Folge. Das bedeutet, dass die Sonne alle 11 Jahre zwischen einem Aktivitätsmaximum und einem Aktivitätsminimum wechselt. Vorgänge auf der Sonnenoberfläche oder in der Sonnenatmosphäre stehen mit dem Sonnenzyklus im Zusammenhang und repräsentieren den Wechsel zwischen schwacher und starker Sonnenaktivität. Der Grad dieser Sonnenaktivität lässt sich zum Beispiel anhand der Sonnenflecken aufzeigen, indem man sie mit ihrer Position auf der Sonne in Verbindung setzt.⁷ Sonnenflecken sind Orte starker lokaler Magnetfelder und das auffälligste Zeichen der Sonnenaktivität.⁸ Zu Beginn eines Sonnenzyklus, der auch Fleckenzklus genannt wird, ist eine geringe Anzahl an Sonnenflecken erkennbar. Sie befinden sich zu Beginn des Zyklus in höheren Breitengraden und nähern sich mit fortschreitendem Zyklus dem Sonnenäquator.⁹ Während eines Aktivitätsminimums können

³ <http://www.sternwarte-eberfing.de>

⁴ <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/granulation/6071>

⁵ <https://www.mpg.de/sonne/sonnenflecken>

⁶ <http://www.sternwarte-eberfing.de/>

⁷ <http://www.spaceweather.at/blog/27012014-0849/aktivitätszyklus-der-sonne>

⁸ <http://www.sternwarte-eberfing.de/>

⁹ <http://www.spaceweather.at/blog/27012014-0849/aktivitätszyklus-der-sonne>

sogar wochenlang keine Sonnenflecken zu sehen sein.¹⁰ Im Gegensatz zu Aktivitätsmaxima, bei denen eine Menge an Sonnenflecken zu sehen ist. Eine große Anzahl an Sonnenflecken gilt als Zeichen für eine hohe magnetische Aktivität der Sonne.¹¹ zu Eruptionen auf der Sonne und koronalen Massenauswürfen kommen kann, die sogar große geomagnetische Stürme hervorrufen können.¹²

2.3. Das interplanetare Magnetfeld

Angetrieben wird die Sonnenaktivität durch den magnetischen Zyklus ihres Magnetfeldes.¹³ Zunächst koppelt das Magnetfeld der Sonne, auch interplanetares Magnetfeld (IMF) genannt, das Innere der Sonne, die Photosphäre und die Atmosphäre der Sonne miteinander. Des Weiteren ermöglicht sie die Ausdehnung der Sonnenwinde in den interplanetaren Raum, der für die Hervorrufung des Weltraumwetters verantwortlich ist.¹⁴

Das solare Magnetfeld endet dementsprechend nicht an der Oberfläche der Sonne, sondern reicht weit in den Raum der Planeten hinein. Der gravitative Einfluss der Sonne endet am Rand des Sonnensystems, beziehungsweise an der Heliopause, wo der Sonnenwind auf das interstellare Medium¹⁵ mit seinem eigenen Magnetfeld trifft.¹⁶ Das Magnetfeld der Sonne ist im Allgemeinen als Dipol-Feld zu betrachten, jedoch beeinflussen die Sonnenflecken, deren Durchmesser mehr als 50 Tausend Kilometer betragen kann, aufgrund ihrer eigenen magnetischen Struktur dieses Feld. Zur Veranschaulichung: Die lokalen Magnetfelder der Sonnenflecken besitzen eine Magnetfeldstärke von bis zu 0,4 Tesla, während das solare Magnetfeld eine Stärke von 10^{-4} Tesla aufweist.¹⁷ Sonnenflecken werden außerdem als kalte Stellen bezeichnet, denn sie besitzen eine Temperatur von 3800 K, während die Photosphäre 5000 K warm ist.¹⁸ In der Sonne zirkulieren elektrische Ströme begünstigt von der

¹⁰ <https://www.weltderphysik.de/>

¹¹ <https://www.zeit.de/2019/26/>

¹² <https://www.weltderphysik.de/>

¹³ <https://www.weltderphysik.de/>

¹⁴ <http://www.spaceweather.at/blog/27012014-0849/aktivitätszyklus-der-sonne>

¹⁵ Interstellare Medium: Materie im Raum zwischen den Sternen einer Galaxie(interstellarer Raum)(https://de.wikipedia.org/wiki/Interstellares_Medium)

¹⁶ <https://www.meteoros.de/>

¹⁷ <http://www.physik.uni-regensburg.de/>

¹⁸ <https://sonnen-sturm.info/lexikon/sonne>

hohen Leitfähigkeit des Plasmas im Sonneninneren. Dieses Plasma ist in ständiger Bewegung aufgrund Konvektionsstörungen. Die Elektronen im Plasma haben höhere Geschwindigkeit als die Ionen, wodurch ein Strom fließt, der das solare Magnetfeld induziert. Dieses Magnetfeld bewegt sich mit dem Plasma mit. Die Entstehung der Sonnenflecken lässt sich hierauf zurückführen, denn das Plasma wird durch Konvektion vom solaren Magnetfeld in Richtung Photosphäre nach oben gezogen. Die lokalen Magnetfelder entstehen, damit das Plasma im Sonneninneren nicht in die Sonnenatmosphäre ausbricht.¹⁹

Das Magnetfeld der Sonne unterliegt einem magnetischen Zyklus, bei dem das solare Magnetfeld sich alle 11 Jahre umpolt. Der Nordpol wird zum Südpol und der Südpol zum Nordpol. Dieser Zyklus wird durch die Sonnenrotation verursacht, bei der die Sonne die Magnetfeldlinien mit ihrer 25-tägigen Rotation um sich selbst mitzieht. Anhand dieses Phänomens lässt sich ebenfalls der Sonnenzyklus erklären, der durch diese zeitliche Veränderung des Magnetfeldes ausgelöst wird. Der Ausgangszustand der magnetischen Pole wird dementsprechend alle 22 Jahre wieder erreicht.²⁰

3. Die Stürme auf der Sonne

3.1 Ursachen für einen geomagnetischen Sturm

Die Sonne schleudert ununterbrochen geladene Teilchen in den Weltraum, die als Sonnenwind im Sonnensystem das Weltraumwetter dominieren. Jedoch kann es zu Zeiten von Aktivitätsmaxima zu einer Sonneneruption kommen, bei der an einer Stelle der Sonne für einen Zeitraum mehr Teilchen und Strahlung in den Weltraum abgegeben werden. Im Grunde ist die Ursache eines geomagnetischen Sturms eine solche Sonneneruption.²¹ Derartige Sonneneruptionen entstehen in Gebieten hoher magnetischer Feldstärke in der Chromosphäre und Korona der Sonne. Die Magnetfeldlinien der Sonne sind an dieser Stelle normalerweise bogenförmig geschlossen und schließen das Plasma der Sonne ein. Aber

¹⁹ <https://www.mpg.de/sonne/sonnenflecken>

²⁰ <http://www.spaceweather.at/blog/27012014-0849/aktivitätszyklus-der-sonne>

²¹ <https://praxistipps.focus.de/>

an Gebieten hoher magnetischer Feldstärke, kann es zum Aufbrechen dieser Feldlinien führen, so dass eine Plasmawolke eruptiv in das Weltall entweicht. Die Plasmawolke die dabei entsteht, wird als koronaler Massenauswurf (Kürzel: CME) bezeichnet. Sie besteht aus Elektronen, Protonen und weiteren Atomkernen. Diese geladenen Teilchen bewegen sich mit Geschwindigkeiten von 1000 Kilometern pro Sekunde auf die Erde und würden sie innerhalb von ein bis zwei Tagen erreichen. Der koronale Massenauswurf ist die Ursache eines geomagnetischen Sturms und für den Großteil der Auswirkungen eines Sonnensturms verantwortlich. Das erste Phänomen einer Sonneneruption sind jedoch hochenergetische Teilchen, die bei einer Ausrichtung zur Erde, sie innerhalb einer Stunde mit etwa 20 Prozent der Lichtgeschwindigkeit erreicht. Ein weiteres Phänomen einer Sonneneruption ist der sogenannte Röntgenblitz, auch Flare genannt. Bei einer Sonneneruption werden eine große Menge hochenergetische Teilchen, wobei der Großteil Protonen sind, ins Weltall geschleudert. Diese werden in entgegengesetzte Richtungen von der Sonnenatmosphäre ausgestoßen. Hierbei treffen einige Teilchen auf die Sonne und werden dort gebremst. Dadurch verlieren sie ihre Bewegungsenergie, die sie in Form von Röntgenstrahlung abgeben. Hierdurch entsteht ein Röntgenblitz, der mit Lichtgeschwindigkeit auf die Erde zurast, der einige Minuten nach der Eruption die Erde erreicht und somit als erster Vorbote eines geomagnetischen Sturms gilt, der die Erde wahrnimmt.²² Bis zu Beginn der 90er Jahre galten diese Flares als Ursache der Sonnenstürme bis John T. Gosling, ein Physiker, der die CME erforscht hatte, zu dem Schluss kam, dass der koronale Massenauswurf die Ursache eines Sonnensturms sei. Jedoch lösen nicht alle koronalen Massenauswürfe geomagnetische Stürme aus, denn die meisten zielen nicht in Richtung Erde, und viele trotz ihrer Ausrichtung zur Erde sind nicht stark genug um einen solchen Sturm zu verursachen. Bei den CME, die auf die Erde zielen ist nur jeder sechste stark genug, um einen Sonnensturm zu entfachen. Ein wichtiges Kriterium hierfür ist, dass sich der koronale Massenauswurf mit höheren Geschwindigkeiten als der Sonnenwind bewegen muss, um eine Stoßwelle auszubilden, und somit einen geomagnetischen Sturm zu verursachen. Die Stoßwellen sorgen nämlich für den Teilchenschauer und die starken

²² <https://sonnen-sturm.info/lexikon/sonnensturm>

Verformungen des Erdmagnetfelds. Außerdem presst ein schneller CME den Sonnenwind vor sich zusammen, wodurch die Magnetfeldstärke ansteigt und zwar so, dass die Feldlinien in Nord-Süd-Richtung kippen, sodass eine effektive Verschmelzung der Feldlinien von irdischen Magnetfeld und interplanetarem Magnetfeld möglich ist. Auf diese Verschmelzung wird im weiteren Fortgang des Textes genauer eingegangen.²³

3.1.1. Der Ursprung der koronalen Massenauswürfe

Die koronalen Massenauswürfe haben ihren Ursprung im Inneren der Sonne. Dort verdrehen sich die Feldlinien des solaren Magnetfeldes gegeneinander. Dabei wird Energie gespeichert, die beim Ausdrehen der Feldlinien frei wird und als Plasmawolke eruptiv aus der Korona in den interplanetaren Raum ausbricht. Diese Verdrehung der Magnetfeldlinien geschieht in der Konvektionszone der Sonne, in der heißes Plasma aus dem Sonneninneren in die Photosphäre aufsteigt, sich abkühlt und wieder nach unten sinkt.²⁴

3.2 Verlauf eines geomagnetischen Sturms

Ein Sonnensturm beginnt also mit einer Sonneneruption, bei der es neben der Abgabe Milliarden Tonnen elektrischer Teilchen zu Flares und koronalen Massenauswürfen kommt. Diese Phänomene der Sonneneruptionen treten nicht immer zusammen auf, in den meisten Fällen aber schon. Am 14. Juli 2000 war dies der Fall. Es begann damit, dass vom Satelliten GOES-8 ein Anstieg der Röntgenstrahlung aus der Aktivitätsregion 9077 (Zone auf der Photosphäre) gemeldet wurde, der auf einen Flare zurückzuführen war. Dies war der erste Vorbote des Sonnensturms, der die Erde wenige Minuten nach der Eruption erreichte und nach einer halben Stunde bereits wieder verblasste. Daraufhin war eine helle, größer werdende Wolke zu beobachten, die sich um die Sonnenscheibe legte. Es handelt sich um einen koronalen Massenauswurf, bei dem die Korona Milliarden Tonnen elektrisch geladener Teilchen in den

²³ Spektrum der Wissenschaft (Ausgabe 7/2001)

²⁴ <https://www.astronews.com/>

Weltraum hinaus schleuderte. Das Aussehen dieses drohenden Phänomens ist zu vergleichen mit einem Heiligenschein, welches darauf zurückführt, dass der Teilchenschauer direkt auf die Erde zuschoss, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 1700 Kilometer pro Sekunde. Während dieser Teilchenschauer weiter auf die Erde strömte, bildete sich eine Stoßwelle aus. Diese beschleunigte einige Teilchen auf noch höhere Geschwindigkeiten und rammte am nächsten Tag das Magnetfeld der Erde. Daraufhin brach ein starker Sonnensturm los, der mit der Ankunft des koronalen Massenauswurfes auf die Erde seine volle Wucht entfaltete.²⁵

3.2.1 Das Erdmagnetfeld im Sonnensturm

Die Erde ist wie die Sonne von einem Magnetfeld umgeben und wirkt als Schutzschild gegen die Strahlungen des Sonnenwindes. Die Magnetosphäre der Erde verhindert, dass Partikel direkt auf unsere Atmosphäre treffen. Bei einem Sonnensturm verformt sich unter Einfluss des Teilchenschauers die irdische Magnetosphäre. Hierbei wird die sonnenzugewandte Seite eingedrückt, während sich die abgewandte Seite zu einem langen Schweif auseinanderzieht. Er ähnelt einem Kometenschweif, der sich weit über die Mondbahn hinaus über mehr als eine Million Kilometer erstreckt. Zwischen dem Sonnenwind und der Magnetosphäre liegt die so genannte Magnetopause. Es handelt sich um eine dünne Grenzschicht, in der der Druck des Magnetfeldes den des Sonnenwindes ausgleicht. Diese Grenze liegt auf der Tagseite der Erde etwa 64 000 Kilometer vor ihrem Zentrum. Der Abstand schwankt mit dem Druck des Sonnenwindes. Trifft dieser auf das Magnetfeld der Erde, bildet sich eine Bugstoßwelle aus, die etwa 13 000 Kilometer vor der Magnetopause liegt. Die Region zwischen der Magnetopause und der Bugstoßwelle heißt Magnetosphärenhülle. In ihr befindet sich das Plasma, welches langsamer, heißer und turbulenter als in den Atmosphäreschichten der Sonne ist.

Während eines Sonnensturms fließen elektrische Ströme, welche die Hochatmosphäre aufheizen und noch mehr Protonen und Sauerstoffionen in die Magnetosphäre pumpen. Das Plasma aus der Magnetosphärenhülle

²⁵ Spektrum der Wissenschaft (Ausgabe 7/2001)

mischt sich mit dem aus der Hochatmosphäre (Protonen und Sauerstoffionen) über den Erdpolen. Das Plasma bildet eine Art Speicher, die so genannten Plasmaschicht. Diese erstreckt sich Zehntausende Kilometer weit auf der Nachtseite der Erde, wo sich das Plasma aus dem Sonnenwind sammelt, das in die Magnetosphäre eingedrungen ist.²⁶

3.2.2 Überwindung des irdischen Magnetfeldes

Wissenschaftler haben sich gefragt, wie der Sonnenwind die Barriere des irdischen Magnetfeldes überwinden kann, und so ins Innere der Magnetosphäre gelangt. Der Physiker James W. Dungey lieferte 1961 eine Erklärung für den Einfluss des Sonnenwindes im Erdmagnetfeld. Auf der Tagseite der Magnetopause sollen sich die Feldlinien des solaren Magnetfeldes und die des irdischen Magnetfeldes zeitweise verbinden. An dieser Stelle ist es dem Sonnenwind möglich, große Mengen Plasma und magnetischer Energie in die Magnetosphäre der Erde zu übertragen. Diese Verschmelzung der Magnetfeldlinien hat ihre effektivste Wirkung, wenn das interplanetare Magnetfeld südwärts gerichtet ist, entgegengesetzt zu dem immer nordwärts gerichteten Erdmagnetfeld auf der Tagseite.²⁷

4. Die Dynamik des Weltraumwetters

Das Weltraumwetter ist wie das irdische Wetter auch seinen eigenen Zyklen und Schwankungen unterworfen. Es hängt hauptsächlich vom Sonnenzyklus ab, bei dem die Sonne zwischen Aktivitätsmaxima und Aktivitätsminima alle 11 Jahre wechselt. Somit folgt die Häufigkeit der geomagnetischen Stürme demselben Muster: So war zum Beispiel der Sonnensturm vom 14. Juli 2000 während eines Maximums des Aktivitätszyklus. Das Medium des Weltraumwetters beziehungsweise das interplanetare Medium ist ein Plasma (ein Gas sehr geringer Dichte), welches aus einer gleichen Anzahl positiv geladener Ionen und negativ geladener Elektronen besteht. Diese Partikel im Plasma werden in ihrer Bewegung von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst, wie zum Beispiel in der Magnetosphäre der Erde, in der das Wetter aus den

²⁶ Spektrum der Wissenschaft (Ausgabe 7/2001)

²⁷ Spektrum der Wissenschaft (Ausgabe 7/2001)

Wechselwirkungen zwischen dem Magnetfeld der Erde und dem Sonnenwind entsteht.²⁸ Das Weltraumwetter ergibt sich aus einem Wechselspiel zwischen Vorgängen auf der Sonne, im interplanetaren Raum, sowie in der irdischen Magnetosphäre.²⁹

4.1. Die Eigenschaften des Sonnenwindes

Der Sonnenwind besteht überwiegend aus Protonen, die 80 Prozent seiner Masse ausmachen. 18 Prozent des Sonnenwindes sind Heliumkerne und schwere Ionen sind nur in Spuren vorhanden. Er wird vom interplanetaren Magnetfeld in den interplanetaren Raum³⁰ hineingetragen und macht den Großteil des interplanetaren Mediums aus. Dabei strecken sich die Feldlinien aus, sodass sie radial von der Sonne fort oder zu ihr hin zeigen. Die mittlere Dichte des Sonnenwindes in der Nähe der Erde beträgt 9 Protonen pro Kubikzentimeter, seine mittlere Geschwindigkeit beträgt 470 Kilometer pro Sekunde und die mittlere Stärke des Sonnenwindes beträgt 6 Nanotesla, was 1 von 5000 der Stärke des Magnetfeldes der Erde an deren Oberfläche entspricht. Diese Eigenschaften des Sonnenwindes sind so wie die Orientierung des solaren Magnetfeldes stark variabel. Diese Feststellung erklärt letztendlich die Dynamik des Weltraumwetters. Das heißt im Umkehrschluss, dass das Weltraumwetter vom Sonnenwind abhängig ist, dessen Stärke und Ausprägung vom solaren Magnetfeld und Sonnenzyklus beeinflusst werden.³¹

4.2. Weltraumwetterbeobachtung

Das Weltraumwetter ist ein wichtiger Aspekt der Erforschung unseres Sonnensystems, denn es kann große Auswirkungen haben, wenn ein geomagnetischer Sturm auf die Erde trifft. Beispielsweise können ganze Stromnetze ausfallen, was zu großen Schäden bei uns auf der Erde führen kann. Deshalb hat die ESA (European Space Agency) die Weltraumwettervorhersagungen auf ihre Prioritätenliste gesetzt, damit man sich auf der Erde für ein solches Ereignis vorbereiten kann. Die ESA als

²⁸ Spektrum der Wissenschaft (Ausgabe 7/2001)

²⁹ <http://www.spaceweather.at/inhalt/was-ist-weltraumwetter>

³⁰ Interplanetarer Raum: Weltall zwischen den Planeten des Sonnensystems(wikipedia.de)

³¹ Spektrum der Wissenschaft (Ausgabe 7/2001)

auch die NASA, haben bereits eigene Satelliten im All die das Weltraumwetter beobachten.³²

4.2.1.Satelliten als globale Wächter

Satellit SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) ist ein bekannter Satellit der ESA und NASA, der zwischen Erde und Sonne stationiert ist und seit Jahren das Weltraumwetter beobachtet. Er ist Teil der Lagrange-Mission, bei der Satelliten auf die sogenannte Lagrange Punkte zwischen Sonne und Erde positioniert wurden. Insgesamt gibt es 5 dieser Sorte. Bei einem Lagrange Punkt herrscht zwischen zwei Himmelskörper, in diesem Fall die Sonne und die Erde, und einem 3. Objekt, wie der Satellit ein Gleichgewichtszustand zwischen der Gravitations- und Zentrifugalkraft. Somit ist ein kräfteloses Verharren dieses Satelliten möglich. SOHO befindet sich am Lagrange Punkt L5.³³

Sobald der Satellit einen übermäßigen Ausstoß von Plasma vermerkt, wird diese Information schnellstmöglich an die Erde weitergeleitet, denn im Falle eines Sonnensturms, der auf die Erde trifft, ist eine schnelle Reaktion notwendig, da sich der Teilchenschauer mit Lichtgeschwindigkeit bewegt. Eine echte Gefahr eines geomagnetischen Sturms lässt sich nur dann erkennen, wenn der Satellit die Ausrichtung des interplanetaren Magnetfeldes des Sonnenwindes vernehmen kann. Diese ist erst messbar, wenn die Plasmawolke den Satellit erreicht. Nach Erreichen des Satelliten sind es nur noch einige Minuten bis die Materie auf die Erde trifft. Dies ist zwar sehr selten der Fall, die Erde sollte trotzdem auf solche Ereignisse vorbereitet sein, um im Ernstfall reagieren zu können.³⁴

5. Fazit: Die Ruhe vor dem Sonnensturm?

Wann wird die Aktivität auf der Photosphäre das nächste Mal bedrohlich zunehmen und wann wird der nächste geomagnetische Sturm unsere Erde treffen? Dies sind 2 der zentralsten Fragen, die man sich in der Sonnenforschung stellt, denn man ist noch nicht in der Lage einzelne

³² https://www.esa.int/Space_in_Member_States/

³³ https://www.esa.int/Space_in_Member_States/

³⁴ <https://www.swr.de/swr2/wissen/>

Ereignisse vorherzusagen. Der bisher stärkste aufgezeichnete geomagnetische Sturm war 1859 das sogenannte Carrington-Ereignis, bei dem ein gewaltiger Teilchenschauer die Erde traf. Würde ein Sturm dieser Stärke uns heutzutage treffen würden uns starke Störungen an Satelliten, Stromtrassen und demzufolge Ausfälle im Strom und Handynetze erwarten. Die Sonne übt Einfluss auf unser ganzes Sonnensystem und hinsichtlich unsere Erde bleibt ihr Einfluss im Sonnensturm nicht bei der irdischen Magnetosphäre sondern geht noch bis in unsere Atmosphäre hinein. Ihre Sonnenwinde sind stets präsent und die Sonnenstürme sind ein gewaltiges Phänomen, ausgelöst durch eruptive Vorgänge auf der Sonne. Die Sonne kann zwar auch ein ruhiger Stern sein, jedoch ist die Sonne bei ihren Aktivitätsmaxima ein turbulenter Gasball. Deshalb sind Vorhersagen von Sonnenstürmen besonders wichtig, da wir in unserer heutigen Welt abhängig von Elektrizität sind. Deswegen gehört es zu den wichtigsten Zielen der Sonnenforschung, den nächsten starken geomagnetischen Sturm vorherzusagen, um sich entsprechend darauf vorzubereiten. Hierbei geht es nicht nur um die Wissenschaft, es geht um wesentliche Bestandteile unseres Alltags, die von einem gewaltigen Sonnensturm bedroht sind. Die ganze Erde ist abhängig der Weltraumwettervorhersagungen, denn falls es zu einem ähnlichen Ereignis wie 1859 kommt, ist die Erde dem Sonnensturm restlos ausgeliefert.³⁵

³⁵ <https://www.zeit.de/2019/26/>

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

6.1. Literaturverzeichnis

- BURCH, JAMES L.: Das Wüten der Weltraumstürme. In: Spektrum der Wissenschaft, 7/2001, S. 30-37

6.2. Quellenverzeichnis

Abrufdatum in eckigen Klammern gekennzeichnet

- KAYSER, RAINER: Die verdrehte Ursache der koronalen Massenauswürfe. Aus: <https://www.astronews.com/news/artikel/2002/09/0209-001.shtml> Stand: 02.09.2002 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Weltraumwetter: Die zerstörerische Kraft der Sonne. Aus: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Weltraumw_Weltr_Die_zerstoererische_Kraft_der_Sonne [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Interplanetares Magnetfeld. Aus: <https://www.meteoros.de/themen/polarlicht/vorhersage/imf/> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- HOR: Entfesselte Magnetkraft. Aus: <https://www.mpg.de/sonne/sonnenflecken> Stand: 21.08.2017 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- PÖLLMANN, CHRISTOPH: Die Sonnenaktivität http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/gebhardt/gebhardt_files/skripten/Sonne.Poellman.pdf Stand: Dezember 2009 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- HERY-MOßMANN, NICOLE: Sonnenstürme: Entstehung und Folgen. Aus: https://praxistipps.focus.de/sonnenstuerme-entstehung-und-folgen_114772 Stand: 30.10.2019 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Sonne. Aus: <https://sonnen-sturm.info/lexikon/sonne> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]

- Sonnensturm. Aus: <https://sonnen-sturm.info/lexikon/sonnensturm> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Aktivitätszyklus der Sonne. Aus: <http://www.spaceweather.at/blog/27012014-0849/aktivitätszyklus-der-sonne> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Was ist Weltraumwetter? Aus: <http://www.spaceweather.at/inhalt/was-ist-weltraumwetter> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Granulation. Aus: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/granulation/6071> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Die Sonne. Aus: <http://www.sternwarte-berfing.de/Fuehrung/Objekbeschreibung/SonneAufbau.html> Stand: 24.05.2016 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- WILDE, ANKE: Wenn Sonnenstürme die Erde treffen Weltraumwetter. Aus: <https://www.swr.de/swr2/wissen/weltraumwetter,broadcastcontrib-sw-11018.html> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Sonne: Neuer Aktivitätszyklus hat begonnen. Aus: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2008/sonne-neuer-aktivitaetszyklus-hat-begonnen/> [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Interplanetarer Raum. Aus: https://de.wikipedia.org/wiki/Interplanetarer_Raum Stand: 12.12.2018 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- Interstellares Medium. Aus: https://de.wikipedia.org/wiki/Interstellares_Medium Stand: 10.01.2020 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]
- SCHMIDT, STEFAN: Die Ruhe vor dem Sonnensturm. Aus: <https://www.zeit.de/2019/26/planetenforschung-sonne-wettervorhersage-sturm/seite-2> Stand: 25.06.2019 [zuletzt abgerufen am: 02.03.2020]

7. Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den _____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

8. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den _____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers