Greselius-Gymnasium

Polarlichter auf anderen Planeten

Facharbeit zum Seminarfach Astronomie

Theo Müller

Fachlehrer: Florian Riemer

Jahrgang 12

Abgabedatum: 03.03.2025, Bramsche

Inhalt

1. Einleitung 1
2. Polarlichter auf der Erde 1
2.1 Mythologie und Historie 1
2.1.1 Frühe Beschreibung und kulturelle Deutung 1
2.1.2 Entwicklung der wissenschaftlichen Erforschung 2
2.2 Physikalische Grundlage: Entstehung von Polarlichtern 3
2.2.1 Sonnenwind 3
2.2.2 Erdmagnetfeld 4
2.2.3 Atmosphäre 5
2.3 Beobachtungsmöglichkeiten und Einflussfaktoren 5
3. Polarlichter in unserem Sonnensystem 6
3.1 Merkur 6
3.1.1 Allgemeines über den Merkur 6
3.1.2 Polarlichter auf dem Merkur 6
3.2 Venus 7
3.2.1 Allgemeines über die Venus 7
3.2.2 Polarlichter auf der Venus 7
3.3 Mars 7
3.3.1 Allgemeines über den Mars 7
3.3.2 Polarlichter auf dem Mars 8
3.4 Jupiter 8
3.4.1 Allgemeines zum Jupiter 8
3.4.2 Polarlichter auf dem Jupiter 8
3.5 Saturn 9
3.5.1 Allgemeines über den Saturn 9
3.5.2 Polarlichter auf dem Saturn 9
3.6 Uranus 10
3.6.1 Allgemeines über den Uranus 10
3.6.2 Polarlichter auf dem Uranus 10
3.7 Neptun 10
3.7.1 Allgemeines über den Neptun 10
3.7.2 Polarlichter auf dem Neptun 11
4. Beobachtung und Erforschung von Polarlichtern 11
5. Fazit und Ausblick 13
6. Literaturverzeichnis 14

1. Einleitung

Polarlichter oder auch Nordlichter sind ein beeindruckendes Naturphänomen, das den Nachthimmel in faszinierenden Farben erleuchten lässt. Sie treten in verschiedenen Formen und Farbtönen auf und sind vor allem in den Polarregionen der Erde zu beobachten. Besonders in den kälteren Jahreszeiten bieten sich in nördlichen Breiten gute Chancen, sie mit bloßem Auge oder mithilfe einer Kamera einzufangen. Wichtig hierbei ist ein klarer Nachthimmel und eine dunkle Umgebung. Auch in Deutschland konnten im Jahr 2024 außergewöhnlich starke Polarlichter gesichtet werden.

Schon seit Jahrhunderten faszinieren Polarlichter die Menschen und führten in verschiedenen Kulturen zu Sagen und Legenden. Die Wikinger deuteten in ihnen Götter und sahen darin Hinweise auf große Schlachten. Auch die Samen, die Ureinwohner Nordskandinaviens, glauben teilweise immer noch, dass Nordlichter ein Zeichen der Toten sind [1].

Doch ist die Erde der einzige Planet, auf dem dieses Phänomen vorkommt? Wie entstehen Polarlichter und welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit sie auftreten? Diese Facharbeit beschäftigt sich mit der Entstehung von Polarlichtern und untersucht, auf welchen anderen Planeten sie zu finden sind und welche Besonderheiten sie dort aufweisen.

2. Polarlichter auf der Erde

2.1 Mythologie und Historie

2.1.1 Frühe Beschreibung und kulturelle Deutung

Polarlichter faszinieren die Menschheit schon seit Jahrtausenden und wurden in vielen Kulturen mythologisch und religiös interpretiert. Bereits um 580 vor Chr. gibt es möglicherweise eine Erwähnung von Polarlichtern im Alten Testament. Im 1. Kapitel, Vers 4ff aus dem Buch Ezechiel ist von einem „Sturmwind“ aus dem Norden und von einer Wolke die Rede, die von einem Lichtglanz umgeben sei [vgl. a S. 141]. Auch in Asien existieren Berichte über Nordlichter, die über 200 Jahre alt sind. Die griechischen und römischen Gelehrten Aristoteles und Seneca untersuchten ebenfalls das Phänomen der Polarlichter, obwohl diese im Mittelmeerraum sehr selten auftreten [a]. Warum dies so ist, erkläre ich später noch genauer.

Heutzutage sehen die Samen[1] die Lichter noch als Zeichen der Verstorbenen und lassen beispielsweise ihre Kinder während eines Polarlichts nicht aus dem Haus oder schwenken weiße Tücher [1].

2.1.2 Entwicklung der wissenschaftlichen Erforschung

Bis in die Neuzeit wurden Polarlichter nur beschrieben und niemand versuchte, diese wirklich wissenschaftlich zu deuten. Dies änderte sich nach einem sehr starken Polarlicht am 17. März 1716, welches sogar bis nach Europa und Nordamerika reichte. Hier stellte der englische Astronom Edmond Halley das erste Mal die Vermutung auf, dass Polarlichter etwas mit dem Erdmagnetfeld zu tun haben. 1736 behauptete Johann Heinrich Winkler – ein Professor an der Uni Leipzig - das erste Mal, dass der Ursprung der Lichter die Sonne sei [a].

Halleys Vermutung bestätigten 1741 die schwedischen Forscher Anders Celsius und Olof Peter Hjorter mit einer Magnetnadel, die sie während eines sichtbaren Polarlicht aufstellten und damit Bewegungen vermerken konnten. Dies ließ sie zu dem Entschluss kommen, dass Polarlichter etwas mit Schwankungen unseres Erdmagnetfelds zu tun haben müssten. Daraufhin entwickelte sich die Beobachtung des Erdmagnetfelds zu einem eigenen Wissenschaftszweig [a].

Anfangs ging man davon aus, dass das Leuchten der Lichter durch reflektiertes Sonnenlicht an Wolken, Eiskristallen oder Gasen in der Atmosphäre erzeugt wird. Dieses wurde aber durch den schwedischen Professor Anders Jonas Ångström 1867 genauer untersucht. Er stellte mithilfe einer sogenannte „Spektralanalyse[2]“ eines Nordlichts fest, dass das Leuchten auf ein selbstleuchtendes Gas in der Atmosphäre zurückzuführen ist [a].

Weitreichende Laborversuche von dem Osloer Professor Kristian Birkeland ergaben, dass Polarlichter durch Elektronen entstehen, die von außerhalb der Erde in die Erdatmosphäre eindringen [a]. Auf die eigentliche Entstehung von Nordlichtern gehe ich im nächsten Kapitel genauer ein.

[1] Ureinwohner Nordskandinaviens
[2] Die Spektralanalyse ist eine Methode zur Untersuchung der Zusammensetzung von Lichtquellen durch Analyse ihres elektromagnetischen Spektrums. Jedes chemische Element emittiert spezifische Wellenlängen von Licht [2].

2.2 Physikalische Grundlage: Entstehung von Polarlichtern

2.2.1 Sonnenwind

Der Ursprung der Lichter liegt rund 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt – auf der Sonne [a].

Aufgrund der enormen Hitze auf der Sonne[3] werden Atome in Protonen und Elektronen[4] aufgespalten, wodurch ein sogenanntes elektrisch geladenes Plasma entsteht. Die Bewegung dieses Plasmas erzeugt ein starkes Magnetfeld, das die geladenen Teilchen beeinflusst. Das ermöglicht der Sonne das Speichern von Unmengen an Energie in z.B. Form von geladenen Teilchen. Durch Instabilitäten im Sonnenmagnetfeld kann Plasma ins Sonnensystem geschleudert werden. [3] Somit strahlt die Sonne nicht nur Wärme und Licht ab, sondern auch Protonen und Elektronen [a].

Der sogenannte „Sonnenwind“ besteht aus einer Unzahl an freigewordenen Protonen und Elektronen, die von der Sonne aus ins Weltall geschleudert werden und sich mit einer Geschwindigkeit von 300 bis 800 km/s durchs All bewegen. Die Menge der emittierten Teilchen[5] variiert je nach Sonnenaktivität. Durch eine enorme Verwirbelung des Plasmas knickt und verdreht sich das Magnetfeld der Sonne. Es kommt zu „Verknotungen“, die schlagartig zurückschnellen und in enormen „Sonneneruptionen[6]“ und „koronalen Massenauswürfen (CME)[7]“ resultieren, welche starke Formen von Sonnenwinden sind. Diese tragen eine deutlich größere Menge an Protonen und Elektronen mit sich und zeigen eine hohe „Aktivität“ der Sonne. Je mehr Plasma freigesetzt wird, desto höher ist die Aktivität der Sonne [3].

Wenn ein Sonnensturm auf einen Satelliten trifft, kann dieser Schäden erleiden. Da es in elektronischen Bauteilen zu freien elektrischen Ladungen kommen kann, die zu Fehlfunktionen oder Abstürzen der Bordcomputer führen. [5]

Nun kann man sich fragen: „Sind Sonnenstürme gefährlich für die Erde?“. Glücklicherweise gibt es jedoch 2 Komponenten, die sie vor diesen schützt, was ich nun genauer beleuchten werde.

---

[3] Oberfläche: ca. 6000 Grad Celsius; im Inneren: ca. 15 Millionen Grad Celsius [4]
[4] Elektronen sind negativ und Protonen positiv geladen.
[5] frei gewordenen Teilchen
[6] Sonneneruptionen sind sehr energiereiche Strahlungswellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten und Protonen aus dem All mit sich ziehen [3].
[7] Koronale Massenauswürfe schleudern Millionen bis Milliarden Tonnen Plasma mit ca. 9 Millionen km/h ins All [3].

2.2.2 Erdmagnetfeld

Das Erdmagnetfeld, auch Magnetosphäre[8] genannt, ist die erste Komponente, die die Erde vor Sonnenwinden schützt. Es spielt eine wichtige Rolle, da es einen Sonnensturm zu großen Teilen an der Erde vorbei lenkt.

Die Entstehung des Erdmagnetfeldes ist auf das flüssige Innere der Erde zurückzuführen. Der geomagnetische Südpol liegt in Nordkanada in der Nähe der Insel „Ellesmereland“ und der geomagnetische Nordpol liegt in der Antarktis südlich von Australien. Durch diese verläuft auch die sogenannte Dipolachse. Hier haben die magnetischen Feldlinien auch ihren Ursprung [a]. Sie verlaufen vom magnetischen Nordpol zum magnetischen Südpol [6]. Ohne äußere Einflüsse würden die Feldlinien symmetrisch verlaufen, was in der Abbildung 1 deutlich zu sehen ist [a].

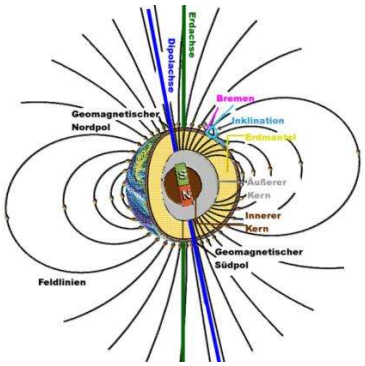

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Erdmagnetfeldes (Universität Bremen)

Trifft nun ein Sonnenwind auf die Grenze der Magnetosphäre, auf die sogenannte Bugstoßwelle, wird er stark abgebremst. Die sonnenzugewandte Seite des magnetischen Feldes staucht sich Richtung Erde, während die abgewandte Seite wie ein Schleier Millionen Kilometer ins All gezogen wird. Hier kann es dazu kommen, dass kleine Teile des Plasmas in das Erdmagnetfeld eindringen und sich zentral in der sogenannten „Plasmaschicht“ ansammeln. Diese wird von Feldlinien, die meistens ihren Ursprung in der Nähe der Pole haben, umschlossen, was die Abbildung 2 zeigt.

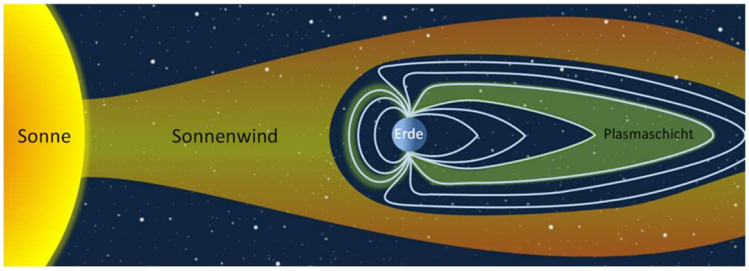

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Entstehung des Nordlichts (Lightriders; Frau Wlcek)

Die Menge an angesammeltem Plasma ist abhängig von der Aktivität der Sonne. Bei einer sehr hohen Aktivität dringt mehr Plasma in die Magnetosphäre ein und der Plasmaschleier dehnt sich aus.

Aufgrund des daran vorbeiziehenden Sonnenwindes, der vollständig abgelenkt werden kann, werden die Elektronen und Protonen in der Plasmaschicht durch

[8] Der Begriff wurde 1959 vom österreichischen Astrophysiker Thomas Gold eingeführt [a].

elektrische Felder in Richtung der Erde beschleunigt[9] und gelangen somit über die Feldlinien in die Atmosphäre [a].

2.2.3 Atmosphäre

Die zweite Schutzkomponente vor Sonnenstürmen ist die Atmosphäre. Sie setzt sich aus fünf Schichten zusammen: Troposphäre, Stratosphäre, Mesosphäre, Thermosphäre und Exosphäre. Für den Schutz vor dem Plasma ist insbesondere die Thermosphäre von Bedeutung. Der Schutzmechanismus ist für uns in Form von Polarlichtern sichtbar. Die Thermosphäre ist die 4. Schicht der Atmosphäre, grenzt an die Mesosphäre und Exosphäre an und erstreckt sich von 85km bis etwa 600km Höhe [7]. Sie absorbiert einen Großteil an ultravioletten und Röntgenstrahlung der Sonne [8]. Ein Teil von ihr ist die sogenannte „Ionosphäre“. Das ist eine Schicht mit einer hohen Konzentration an ionisierten Partikeln[10]. Diese reflektieren Radiowellen und ermöglichen somit die weltweite Funkkommunikation und den Betrieb von GPS-Systemen [8]. In der Thermosphäre steigt die Temperatur mit steigender Höhe an. Sie kann hier auf bis zu 2500 Grad Celsius ansteigen. Das hat mit ihrer absorbierenden Funktion zu tun. Zudem herrscht dort eine geringe Gasdichte und es sind vor allem atomarer Sauerstoff, atomarer Stickstoff und Helium zu finden [7].

Bei der Entstehung von uns bekannten Polarlichtern spielt vor allem der Sauerstoff und der Stickstoff eine große Rolle. Wenn ein Elektron auf diese Gasmoleküle trifft, fangen sie an zu leuchten. Auf einer Höhe von 80 – 100 km ist meistens Sauerstoff anzufinden [6]. Dieser erleuchtet im Normalfall in grünen oder roten Farben und leuchtet am hellsten.

Stickstoff ist häufig auf einer Höhe von 150km – 600km anzutreffen [6]. Dieser leuchtet im Normalfall blau oder violett. Außerdem treten infrarot und ultraviolette Strahlungen auf, die mit dem menschlichen Auge nicht zu erkennen sind. Durch das Zusammenstoßen der elektrisch geladenen Teilchen mit Gasmolekülen in der Troposphäre, wird verhindert, dass Plasma auf die Oberfläche der Erde gelangt. Somit sind Sonnenstürme völlig ungefährlich für uns und für die Erde.

2.3 Beobachtungsmöglichkeiten und Einflussfaktoren

Der Standort ist ein entscheidender Faktor für die Beobachtung von Polarlichtern, da sie an vielen Orten nur selten oder gar nicht sichtbar sind. Die besten Beobach-

[9] Bei diesem Phänomen spricht man von dem sogenannten „Sonnenwind-Magnetosphären-Generator“ [a].
[10] geladene Teilchen

tungsbedingungen für Nordlichter finden sich in hohen geografischen Breiten zwischen 65 Grad und 75 Grad, da sie dort am häufigsten auftreten. Das liegt an dem Verlauf der Feldlinien und der Lage des Plasmaschleiers im Magnetfeld [a]. Skandinavien, Kanada und Neuseeland gehören zu den besten Regionen zur Beobachtung von Polarlichtern Zudem beeinflussen Wetterbedingungen und Luftverschmutzung die Sichtbarkeit. Wenn der Himmel von Wolken bedeckt ist, sind die Lichter es ebenfalls.

Bei einer starken Sonnenaktivität kann es dazu kommen, dass man auch in niedrigeren Breiten Nordlichter am Himmel erblicken kann. Mir ist dies in der Nacht vom 10. auf den 11. Oktober 2024 auch gelungen, was die Abbildung 3 zeigt.

Abbildung 3: Polarlichter in Deutschland (Theo Müller, 2024)

3. Polarlichter in unserem Sonnensystem

Da die Entstehung von Nordlichtern auf der Erde eng mit dem Magnetfeld und der Atmosphäre zusammenhängt, stellt sich die Frage, ob dieses faszinierende Naturphänomen auch auf anderen Himmelskörpern unseres Sonnensystems zu beobachten sind. Tatsächlich konnten Wissenschaftler Polarlichter auch auf anderen Planeten nachweisen- jedoch mit teils deutlichen Unterschieden zu den heimischen Lichtern.

3.1 Merkur

3.1.1 Allgemeines über den Merkur

Merkur ist der sonnennächste und kleinste Planet unseres Sonnensystems. Seine dünne Atmosphäre besteht hauptsächlich aus Sauerstoff, Natrium, Wasserstoff, Helium und Kalium. Trotz seiner geringen Größe besitzt er ein erdähnliches Magnetfeld, welches jedoch deutlich schwächer ist als das der Erde. Das führt dazu, dass das Magnetfeld auf der Nordhalbkugel stärker ausgeprägt ist als das der Südhalbkugel und es bietet weniger Schutz vor Sonnenwinden, die ihn deutlich stärker treffen als andere Planeten [9].

3.1.2 Polarlichter auf dem Merkur

Auch auf dem Merkur gibt es Polarlichter an den Polen. Sie sind aber nicht mit dem bloßen Auge zu erkennen, da sie ausschließlich im Röntgenbereich strahlen. Das ist der Fall, weil der Merkur – anders als die Erde – keine Atmosphäre hat, die ihn vor dem Sonnensturm schützt, da diese zu dünn ist. Somit treffen die Elektronen,

die auf gleiche Art und Weise wie bei der Erde auf die Oberfläche des Planeten kommen, direkt auf die Oberfläche und nicht auf Gasmoleküle in der Atmosphäre [10]. Somit unterscheiden sich die Lichter hier stark von den auf der Erde, da sie auf eine andere Art und Weise entstehen. Sie sind längst nicht so hell und unterscheiden sich zudem auch in ihrer Form, da das Magnetfeld zu schwach ist, um die starken Winde vernünftig abzulenken.

3.2 Venus

3.2.1 Allgemeines über die Venus

Die Venus ist der zweite Planet in unserem Sonnensystem und ähnelt der Erde in Größe und Masse, weshalb sie oft als „Schwesterplanet“ bezeichnet wird. Sie ist etwas kleiner als die Erde und ihre Atmosphäre besteht aus ca. 96% aus Kohlenstoffdioxid und ist von dichten Schwefelsäurewolken bedeckt, was zu einem extremen Treibhauseffekt führt und die Venus zu dem heißesten Planeten unseres Sonnensystems macht. Die Venus besitzt kein globales Magnetfeld [11].

3.2.2 Polarlichter auf der Venus

Auf der Venus gibt es keine klassischen Nordlichter wie auf der Erde. Dies hängt mit dem vorher schon erwähntem nicht globalen Magnetfeld zusammen. Dadurch gibt es keine Möglichkeit, die Elektronen des Sonnenwindes global abzulenken und somit auch nicht zu den Polen zu lenken. Stattdessen können kann das Plasma der Sonnenwinde direkt in die Atmosphäre eindringen und dort mit Gasmolekülen zusammenstoßen. Das führt zu Leuchterscheinungen, die nicht auf die Polregionen beschränken und deutlich ungeordneter erscheinen als die auf der Erde. Somit unterscheiden sie sich auf der Venus deutlich von Polarlichtern auf Planeten, die ein globales Magnetfeld besitzen, wie zum Beispiel die Erde. Das ist der Grund, warum man nicht wirklich von Polarlichtern auf der der Venus reden kann und es auch keine wirklichen Bilder davon gibt [12].

3.3 Mars

3.3.1 Allgemeines über den Mars

Der Mars ist der vierte Planet unseres Sonnensystems und wird aufgrund seiner rötlichen Farbe, verursacht durch Eisenoxid auf seiner Oberfläche, oft als „Roter Planet“ bezeichnet. Er ist ca. halb so groß wie die Erde und seine Atmosphäre besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Argon. Der Mars be-

sitzt zwei kleine Monde, Phobos und Deimos. Obwohl er ein schwaches Magnetfeld aufweist, ist es nicht global wie das der Erde, sondern in Form von lokalen magnetischen Anomalien[11] in der Kruste vorhanden [13].

3.3.2 Polarlichter auf dem Mars

Auf dem Mars wurden verschiedene Arten von Polarlichtern beobachtet, darunter fleckige ultraviolette Erscheinungen, die kurzzeitig auftreten und auf kleine Regionen beschränkt sind. Diese Phänomene entstehen die Interaktion des Sonnenwinds mit den vorher erwähnten lokalen Magnetfeldern. Die Lichter sind somit nicht mit den auf der Erde vergleichbar, da sie sich in Entstehung und Aussehen unterscheiden. Wie ein Polarlicht auf dem Mars aussieht, zeigt die Abbildung 4. Dort sind Polarlichter auf der rechten Seite des Planeten zu sehen. [14]

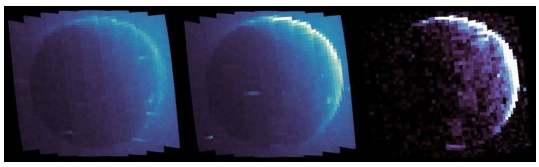

Abbildung 4: Polarlichter auf dem Mars: (NASA, 2019)

3.4 Jupiter

3.4.1 Allgemeines zum Jupiter

Der Jupiter ist der 5. Planet in unserem Sonnensystem. Außerdem ist er der größte und der Planet mit der kürzesten Rotationszeit [b]. Insgesamt umkreisen ihn 92 Monde. Die vier Größten sind Io, Europa, Ganymed und Callisto [15]. Seine Atmosphäre setzt sich hauptsächlich aus Wasserstoff, Helium, Methan, Deuterium und Wasserdampf zusammen. Hierbei muss man dazu sagen, dass die Zusammensetzung nur auf der obersten Schicht der Atmosphäre gemessen werden konnte. Weitere Untersuchungen zeigten aber, dass die Konzentration an Helium und Wasserstoff in den tieferen Ebenen höher sein muss als die von Methan und anderen den weiteren Gasen [b]. Zudem stellte man mithilfe der Voyager 1[12] fest, dass die Konzentration an Helium und Wasserstoff in der Nähe der Pole sehr hoch sein muss, was in Bezug auf Polarlichter eine interessante Rolle spielt [c]. Zusätzlich spielt auch das um ein Vielfaches größere Magnetfeld eine wichtige Rolle. Auch hier ist eine Plasmaschicht aufzufinden, die aber deutlich flacher ist, sich auf Äquatorebene befindet und mit dem Magnetfeld mitrotiert [17].

3.4.2 Polarlichter auf dem Jupiter

Die Polarlichter auf dem Jupiter sind sehr ähnlich zu den Polarlichtern auf der Erde. Sie zeigen eine konstante Aktivität und sind deutlich stärker als auf der Erde, was

[11] Magnetische Anomalien sind lokal begrenzte Bereiche mit erhöhter Magnetisierung.
[12] Die Voyager 1 ist Teil des Voyager-Programms der NASA und dient zur Erforschung des äußeren Sonnensystems [16].

darauf schließen lässt, dass sie nicht nur durch Sonnenwind entstehen, sondern auch durch etwas anderes.

Man geht davon aus, dass die Lichter durch die ständig induzierte Spannung durch Schwefeldioxid, welches von dem Mond Io[13] in die Atmosphäre des Jupiters gelangt und um den Jupiter kreist, entstehen. Deswegen strahlen die Lichter hauptsächlich um UV- und Röntgenbereich und wären somit für das menschliche Auge nicht sichtbar. Durch das starke Magnetfeld des Jupiters erstecken sich die Polarlichter über eine sehr große Fläche, treten aber auch meistens in den Polregionen auf und leuchten stark [19]. Wie ein Nordlicht dort aussieht, ist oben in Abbildung 5 zu sehen.

Abbildung 5: Polarlicht auf dem Jupiter (NASA, 2016)

3.5 Saturn

3.5.1 Allgemeines über den Saturn

Der Saturn ist der 6. Planet unseres Sonnensystems und der einzige mit einem stark ausgeprägtem Ringsystem. Er ist kleiner und kälter als der Jupiter, aber man vermutet, dass die Zusammensetzung der Atmosphären sich sehr ähneln. Der Unterschied soll darin liegen, dass man eine höhere Konzentration an Wasserstoff und Helium vermutet [b]. Sie setzt sich aus ca. 97% Wasserstoff und 3% Helium zusammen. Das Magnetfeld ist etwas schwächer als das der Erde. Auch in der Magnetosphäre ist ein Plasmaschleier aufzufinden, wodurch auch auf dem Saturn Polarlichter zu beobachten sind [d].

3.5.2 Polarlichter auf dem Saturn

Die Nordlichter auf dem Saturn ähneln den auf der Erde und auf dem Jupiter. Sie entstehen ebenfalls durch Sonnenwinde und durch Elektronen, die in die Magnetosphäre eindringen und die Helium- und Wasserstoffmoleküle zum Leuchten anregen. Dadurch entstehen Röntgen- und Ultraviolettstrahlen, die nicht mit dem menschlichen Auge zu erkennen sind. Außerdem entstehen die Lichter auch durch die Monde des Saturn, wenn diese während sie sich durch sein Magnetfeld bewegen, elektromagnetische Wellen erzeugen [d].

[13] Der Io ist vulkanisch sehr aktiv und produziert deswegen ca. 1 Tonne Schwefeldioxid in der Sekunde. Dies ist daran geschuldet, dass er nah am Jupiter liegt und deswegen enormen Kräften ausgesetzt ist [18].

Die Abbildung 6 zeigt Polarlichter am Südpol am 24., 26. Und 28. Januar 2005 an verschiedenen Tagen.

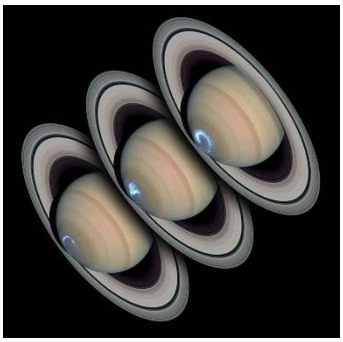

Abbildung 6: Polarlichter auf dem Saturn (NASA, 2005)

3.6 Uranus

3.6.1 Allgemeines über den Uranus

Uranus ist der siebte Planet in unserem Sonnensystem und zählt zu den Eisriesen. Er wurde 1781 von Wilhelm Herschel entdeckt. Er ist der drittgrößte Planet. Seine Atmosphäre besteht hauptsächlich aus Wasserstoff, Helium und Methan, was ihm auch seine Charakteristische blau-grüne Farbe verleiht. Bemerkenswert ist seine extreme Achsenneigung von etwa 98 Grad, wodurch er „so gut wie auf der Seite liegt“, während er um die Sonne kreist. Er besitzt ein Ringsystem und 27 Monde [20]. Die enorme Entfernung zur Erde macht es außerdem schwerer ihn genau zu untersuchen.

3.6.2 Polarlichter auf dem Uranus

Auch die Erforschung der Nordlichter gestaltet sich aufgrund der Entfernung schwer. Trotzdem ist bekannt, dass auch auf dem Uranus Polarlichter durch Sonnenwinde und durch seine Monde entstehen, auch wenn diese um Längen nicht so gut erforscht sind, wie die auf dem Jupiter oder Saturn [20]. Trotzdem geht man davon aus, dass sie den Lichtern auf dem Jupiter ähneln und etwas schwächer sind als die auf der Erde [21]. Außerdem ist es der NASA gelungen, Polarlichter auf dem Uranus an den Polen einzufangen. Sie sind in der Abbildung 7 als weiße Flecken zu erkennen.

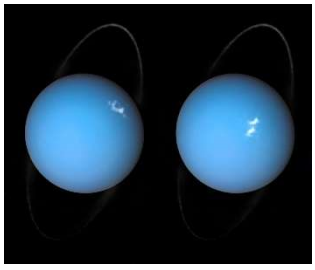

Abbildung 7: Polarlichter auf dem Uranus (NASA, 2017)

3.7 Neptun

3.7.1 Allgemeines über den Neptun

Neptun ist der achte Planet unseres Sonnensystems und zählt zu den Eisriesen. Er ist etwas kleiner als der Uranus, jedoch massereicher. Auch seine Atmosphäre besteht hauptsächlich aus Wasserstoff, Helium und Methan, was auch ihm seine blaue Farbe verleiht. Der Neptun besitzt ein starkes Magnetfeld, welches gegenüber der Rotationsachse um 47 Grad geneigt ist, was es sehr komplex Macht. Er wird von mindestens 16 Monden umkreist und besitzt ein ganz feines Ringsystem. [22].

3.7.2 Polarlichter auf dem Neptun

Die Forschung von Polarlichtern auf dem Neptun gestaltet sich, wie auch auf dem Uranus, schwer. Durch seine noch größere Distanz zur Erde gibt es kaum Infos bezüglich Leuchterscheinungen auf dem Planeten und auch keine Fotografien. Sein komplexes Magnetfeld erschwert die Forschung erheblich. Trotzdem ist bekannt, dass die Polarlichter in der Nähe der Pole entstehen und diese immer noch durch Sonnenwinde erzeugt werden. Das Prinzip hierbei soll ähnlich wie auf der Erde funktionieren [23].

4. Beobachtung und Erforschung von Polarlichtern

Die Untersuchung von Polarlichtern auf verschiedenen Planeten unseres Sonnensystems wurde maßgeblich durch den Einsatz spezialisierter Raumsonden und fortschrittlicher Messmethoden vorangetrieben. Diese Missionen lieferten wertvolle Daten über die Magnetosphären und Atmosphären der Planeten sowie wichtige Informationen, die auf Leuchterscheinungen hinweisen.

Die europäisch-japanische Mission „BepiColombo[14]“ untersucht seit ihrem Start ins Weltall im Jahr 2018 den der Sonne am nächsten gelegensten Planeten – den Merkur. Während ihres ersten Vorbeiflugs am Merkur im Oktober 2021 zeichnete die Sonde Messdaten auf, die helfen, die Röntgen-Polarlichter des Planeten zu verstehen. Die Daten zeigen, wie Elektronen des Sonnenwinds auf den Planeten prasseln und so das Leuchten auslösen [24]. Nachdem die BepiColombo-Mission sich auf den Merkur konzentrierte, fokussierte sich eine andere Sonde auf die Venus.

Durch die europäische Raumsonde „Venus Express“ konnten Polarlicht ähnliche Strukturen auf der Venus während eines Sonnensturms feststellen, auch wenn sie kein globales Magnetfeld besitzt. Zwischen 2006 und 2014 nutzte die Sonde sogenannte Spektrometer[15], um ultraviolette Polarlichter auf der Venus zu analysieren [26].

Die „Cluster-Mission“ der Europäischen Weltraumorganisation[16] besteht aus vier Satelliten, die seit dem Jahr 2000 in Formation fliegen, um die Magnetosphäre zu erforschen. Durch die Messung von Magnetfeldern und Plasmaströmen konnte

[14] „BepiColombo“ ist ebenfalls der Name der Raumsonde.
[15] Ein Spektrometer ist ein Instrument, das die Intensität von Strahlung in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge misst. Dies gibt Ausschluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und Oberfläche der Planeten. Zudem messen sie die Strahlung, die von Polarlichtern ausgeht und sind somit essenziell für die Forschung [25].
[16] Kurz: ESA

das Projekt essenzielle Informationen über die Polarlichter auf der Erde bieten, die die Forschung der lokalen Lichter enorm vorantreiben konnten [27].

Die NASA-Sonde „Mars Atmosphere and Volatile Evolution[17]“, die seit 2014 den Mars umkreist, ist mit einem sogenannten „Imaging Ultraviolet Spectrograph[18]“ ausgestattet. Dieses Instrument hat ultraviolette Polarlichter in der Marsatmosphäre aufgenommen, insbesondere in Regionen mit lokalen magnetischen Felder. Zusätzlich misst ein Magnetometer[19] an Bord die Magnetfeldstrukturen, um die Herkunft der Lichter zu verstehen [28].

Die „Juno-Mission“ der NASA, die seit 2016 den Jupiter untersucht, ist mit einer Vielzahl von Instrumenten ausgestattet, darunter ein auch ein „Imaging Ultraviolet Spectrograph“ und ein „Jovian Auroral Distributions Experiment“. Sie werden zur Untersuchung von ultravioletter Strahlung der Polarlichter und von energiereichen Teilchen verwendet. Zudem trägt die Sonde ein Magnetometer mit sich, was das Magnetfeld des Jupiters aufnimmt und zur genaueren Bestimmung beiträgt [29].

Die „Cassini-Mission“, eine Kooperation zwischen NASA, ESA und der italienischen Raumfahrtagentur, untersuchte von 2004 bis 2017 den Saturn. Mit Instrumenten wie dem ISUV werden Polarlichter im ultravioletten Bereich beobachtet. Zudem lieferten Magnetometer Daten über das Magnetfeld und deren Interaktion mit Sonnenwinden [30].

Die Schwestersonden[20] Voyager 1 und Voyager 2 der NASA, die 1977 gestartet wurden, lieferten entscheidende Daten zur Erforschung der äußeren Planeten unseres Sonnensystems. Während die Voyager 1 1980 den Saturn passierte und heute das am weitesten entfernte vom Menschen geschaffene Objekt im All ist [16], passierte die Voyager 2 1986 den Uranus und 3 Jahre später den Neptun. Beide Sonden trugen mit Messungen des Magnetfelds und die Auswirkungen von Sonnenwinden auf die Planeten zur Forschung von Polarlichtern auf anderen Planeten bei. Vor allem halfen ihre Ergebnisse dabei, die Magnetfelder und Lichter auf dem Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun zu verstehen. Trotz der Menge an Informationen bleibt ein enormer Spielraum für die weitere Forschung der Polarlichter auf dem Neptun und Uranus, da man hier noch keine wirklich ausführlichen Aussagen treffen konnte, was bei dem Saturn und dem Jupiter der Fall ist [31].

[17] Kurz: MAVEN
[18] Ein Instrument, welches ultraviolette Strahlung messen und auswerten kann. Kurz: IUSV
[19] Ein Instrument, welches Magnetfelder messen kann.
[20] Schwestersonde bedeutet, dass sie baugleich sind. Zudem gehören sie beide zur gleichen Forschungsmission der NASA.

Zusammenfassend haben spezialisierte Raumsonden mit fortschrittlichen Instrumenten, wie Spektrographen zur Analyse von Licht und Atmosphäre und Magnetometer zur Messung von Magnetfeldern, entscheiden dazu beigetragen, unser Verständnis von Polarlichtern auf verschiedenen Planeten zu erweitern. Die Missionen ermöglichen es, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Sonnenwind, Magnetosphäre und Atmosphäre im gesamten Sonnensystem zu untersuchen.

5. Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen der Polarlichter auf verschiedenen Planeten hat gezeigt, dass ihre Entstehung und ihr Aussehen von mehreren Faktoren abhängen. Dazu gehören das eigene Magnetfeld, die Atmosphäre und ihre Zusammensetzung und der Einfluss des Sonnenwinds, sowie andere Himmelskörper, die Materie und Energie ins Weltall abgeben. Ein Magnetfeld und geladene Teilchen, die mit Gasmolekülen zusammenstoßen, sind essenzielle Voraussetzungen für das Auftreten von Polarlichtern. Die Farbe und Art der Strahlung werden dabei durch die Zusammensetzung der Atmosphäre bestimmt. Trotz Unterschiede zwischen den Planeten, ähneln sich die Polarlichter häufig in ihrer Form und unterscheiden sich hauptsächlich in ihrem Farbspektrum und Intensität.

Außerdem ist wichtig zu betonen, dass die Lichter nicht nur ein beeindruckendes Naturphänomen sind, sondern wichtige Erkenntnisse über die Atmosphäre und Magnetfelder bieten, was die Forschung von anderen Planeten vorantreiben konnte. Besonders die Beobachtung durch Raumsonden hat dazu beigetragen, unser Verständnis dieser Prozesse erheblich zu erweitern.

Auch wenn bereits einige Erkenntnisse über die Leuchterscheinungen auf anderen Planeten gesammelt wurden, bleiben trotzdem einige Fragen offen und es sind weitere Missionen nötig, um wirklich detaillierte Aussagen für vor allem weit entfernte Planeten, wie zum Beispiel die Eisriesen, treffen zu können. Somit bleibt die Erforschung der Polarlichter ein spannendes und relevantes Thema, das unser Wissen über das Sonnensystem enorm erweitern kann und eventuell auch bei der Erforschung anderer Planetensysteme helfen kann.

6. Literaturverzeichnis

Literaturquellen

[a] Schlegel, Dr. Kristian (2001): *Vom Regenbogen zum Polarlicht: Leuchterscheinungen in der Atmosphäre*, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag (S. 141 - 159).

[b] Stanek, Bruno (1977): *Das Sonnensystem: Einführung in die Planetologie*, 2., verbesserte Auflage, Hallwag Verlag (S. 81 - 86).

[c] Beebe, Reta (1997): *Jupiter: The Giant Planet*, Second Edition (S. 79).

[d] Hänssler, Boris (2011): Der Herr der Ringe: Halbzeit für die Saturnsonde Cassini, in: *Interstellarum*, Nr. 74 (S.12 - 14).

Internetquellen:

[1] Terra X plus. (2020). Wie Polarlichter entstehen | Terra X plus [Video]. YouTube. Abgerufen am 18. Februar 2025, von https://www.youtube.com/watch?v=gixNSiqdyVU

[2] Lexikon der Chemie: Spektralanalyse (2005): Spektrum.de, [online] https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/spektralanalyse/8590? [abgerufen am 24.02.2025].

[3] Dinge Erklärt – Kurzgesagt (2020): Wie Sonnenstürme unsere Zivilisation zerstören könnten, [YouTube] https://www.youtube.com/watch?v=6DPVWbJAWpY (0:00 – 4:83 min) [abgerufen am 18.02.2025].

[4] Gábor Paál (2024): Wie heiß ist die Sonne?, SWR, [online] https://www.swr.de/wissen/1000-antworten/wie-heiss-ist-die-sonne-104.html#:~:text=An%20der%20Oberfl%C3%A4che%20der%20Sonne,Sonne%20ein%20gewaltiger%20Fusions-Reaktor. [abgerufen am 23.02.2025].

[5] Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (2013): Sonnenstürme und Sonnenaktivität, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, [online] https://www2.mps.mpg.de/de/forschung/sonne/sonnensturm-FAQ.html [abgerufen am 23.02.2025].

[6] Physik - simpleclub (2014): Polarlichter / Nordlichter – Wie entstehen sie?, [YouTube] https://www.youtube.com/watch?v=G6jhwaYvGwo [abgerufen am 18.02.2025].

[7] Wikipedia-Autoren (2002): Troposphäre, [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Troposph%C3%A4re [abgerufen am 24.02.2025].

[8] Die faszinierende Welt der Thermosphäre (2024): Die Erde, [online] https://www.die-erde.com/atmosphaere/thermosphaere [abgerufen am 24.02.2025].

[9] Wikipedia-Autoren (2002): Merkur (Planet), [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_%28Planet%29 [abgerufen am 27.02.2025].

[10] Aizawa, Sae (u.a., et al) (2023): Direct evidence of substorm-related impulsive injections of electrons at Mercury, in: *Nature Communications*, Bd. 14, Nr. 1, [online] doi:10.1038/s41467-023-39565-4.

[11] Wikipedia-Autoren (2002): Venus (Planet), Wikipedia, [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Venus_(Planet) [abgerufen am 27.02.2025].

[12] Ulrich, Bastian (2019): 006-009 SuW 2_2019 (pdf), Spektrum.de, [online] https://www.spektrum.de/pdf/006-009-suw-2-2019-pdf/1616024 [abgerufen am 28.02.2025].

[13] Wikipedia-Autoren (2002): Mars (Planet), Wikipedia, [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Mars_(Planet) [abgerufen am 27.02.2025].

[14] Murzewitz, Oscar William (2024): Polarlichter auf dem Mars, in: *Welt der Physik*, 01.03.2024, [online] https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/nachrichten/2024/sonnensystem-polarlichter-auf-dem-mars/.

[15] Die großen Jupitermonde (Galileische Monde) (o. D.): [online] https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/projekte-und-missionen/juice/die-grossen-jupitermonde-galileische-monde#:~:text=Derzeit%20sind%2092%20Monde%20bekannt,und%20den%20Planeten%20Jupiter%20richtete. [abgerufen am 26.02.2025].

[16] Wikipedia-Autoren (2003): Voyager 1, [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Voyager_1 [abgerufen am 26.02.2025].

[17] Jupiter - Atmosphäre und Magnetfeld (o. D.): Astronomie.de, [online] https://www.astronomie.de/das-sonnensystem/planeten-und-monde/der-jupiter/atmosphaere-/-magnetfeld [abgerufen am 26.02.2025].

[18] LPIndie - Astronomie und Wissenschaft (2019): Das Geheimnis der Jupiter Polarlichter, [YouTube] https://www.youtube.com/watch?v=YhVn3KzvRWg [abgerufen am 27.02.2025].

[19] Konitzer, Franziska (2021): Planeten: Wie Polarlichter auf Jupiter entstehen, Spektrum.de, [online] https://www.spektrum.de/news/planeten-wie-polarlichter-auf-jupiter-entstehen/1892980 [abgerufen am 26.02.2025].

[20] Wikipedia-Autoren (2002): Uranus (Planet), [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus_%28Planet%29 [abgerufen am 27.02.2025].

[21] TheSimplySpace (2021): Die NASA fand heraus, dass Uranus etwas Unerklärliches tut!, [YouTube] https://www.youtube.com/watch?v=r3FX9nJrqw [abgerufen am 27.02.2025].

[22] Wikipedia-Autoren (2002): Neptun (Planet), [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Neptun_%28Planet%29 [abgerufen am 27.02.2025].

[23] Denise (o. D.): Neptun, Astrokramkiste, [online] https://astrokramkiste.de/neptun [abgerufen am 27.02.2025].

[24] Deutsche Raumfahrtagentur (o. D.): BepiColombo, Deutsche Raumfahrtagentur, [online] https://www.dlr.de/de/ar/themen-missionen/weltraumforschung/erkundung-des-weltraums/planeten-monde-und-asteroiden/bepicolombo [abgerufen am 28.02.2025].

[25] Wikipedia-Autoren (2004): Spektrometer, Wikipedia, [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Spektrometer#:~:text=Ein%20Spektrometer%20ist%20ein%20Ger%C3%A4t,die%20M%C3%B6glichkeit%2C%20die%20Spektren%20auszumessen.&text=Ein%20Spektrum%20ist%20die%20Intensit%C3%A4t,Atomen%20oder%20Ionen%20%E2%80%93%20der%20Masse. [abgerufen am 28.02.2025].

[26] ESA (o. D.): Venus Express, ESA: The European Space Agency, [online] https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Venus_Express [abgerufen am 28.02.2025].

[27] Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (o. D.): Cluster: Mission in die Erdmagnetosphäre, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, [online] https://www.mps.mpg.de/planetenforschung/cluster-mission [abgerufen am 28.02.2025].

[28] NASA (o. D.): MAVEN: Mars Atmosphere and Volatile Evolution Mission, NASAFacts, [online] https://mars.nasa.gov/internal_resources/810/ [abgerufen am 28.02.2025].

[29] Cermak, Alicia (2024): Juno - NASA Science, NASA Science, [online] https://science.nasa.gov/mission/juno/#overview [abgerufen am 28.02.2025].

[30] DLR (o. D.): Reiseziel Saturn: die Misson Cassini-Huygens, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), [online] https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/projekte-und-missionen/cassini-huygens [abgerufen am 28.02.2025].

[31] Wikipedia-Autoren (2003): Voyager 2, Wikipedia, [online] https://de.wikipedia.org/wiki/Voyager_2 [abgerufen am 27.02.2025].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Erdmagnetfeldes (Universität Bremen): https://www.astropage.eu/sonnensystem/planeten/erde/erde-magnetfeld/ 4
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Entstehung des Nordlichts (Lightriders; Frau Wlcek): https://www.lightriders.info/pages/nordlicht/entstehung.php 4
Abbildung 3: Polarlichter in Deutschland (Theo Müller, 2024) 6
Abbildung 4: Polarlichter auf dem Mars: (NASA, 2019): https://science.nasa.gov/resource/mars-proton-aurora/ 8
Abbildung 5: Polarlicht auf dem Jupiter (NASA, 2016): https://science.nasa.gov/missions/hubble/hubble-captures-vivid-auroras-in-jupiters-atmosphere/ 9
Abbildung 6: Polarlichter auf dem Saturn (NASA, 2005): https://science.nasa.gov/resource/saturns-auroras/ 10
Abbildung 7: Polarlichter auf dem Uranus (NASA, 2017): https://science.nasa.gov/missions/hubble/hubble-spots-auroras-on-uranus/ 10

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Bramsche, den 3. März 2025 _____

Ort, Datum Unterschrift des Schülers

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 3. März 2025 _____

Ort, Datum Unterschrift des Schülers