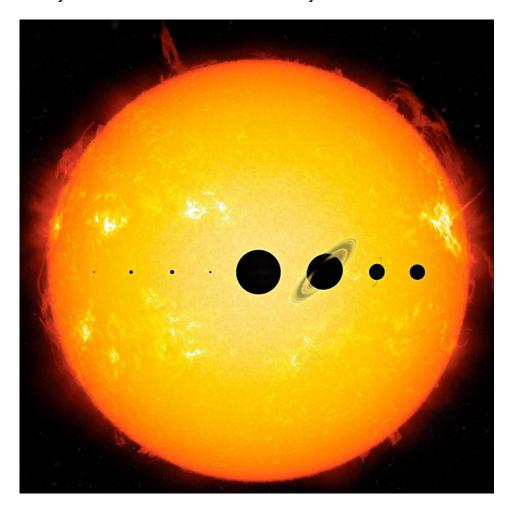
# Jupiter, Saturn & Co. – Die Riesenplaneten des Sonnensystems und neueste Erkenntnisse

Projektarbeit im Rahmen des Projektkurs Astronomie



Verfasser: Jessica Münn

Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal

Jahrgangsstufe Q1

Projektkurs Astronomie 2021/2022

Kursleitung: Bernd Koch Abgabedatum: 18.05.2022



# Inhalt

1.	. Einleitung	3
2.	. Grundlagen	3
_	2.1 Definition von Planeten	
	2.2 Arten von Planeten im Sonnensystem	
	2.3 Aufbau des Sonnensystems	
2	. Vorstellung der Planeten	G
٦.	3.1 Jupiter	
	3.1.1 Allgemeines und Besonderheiten	
	3.1.2 Jupiters Monde	
	3.2 Saturn	
	3.2.1 Allgemeines und Besonderheiten	
	3.2.2 Saturns Monde	
	3.3 Uranus	
	3.3.1 Allgemeines und Besonderheiten	
	3.3.2 Uranus´ Monde	
	3.4 Neptun	
	3.4.1 Allgemeines und Besonderheiten	
	3.4.2 Neptuns Monde	19
4.	. Neueste Entdeckungen und Ereignisse	20
	4.1 Raumsondenmissionen	20
	4.2 Entdeckungen und Erkenntnisse	22
	4.2.1 Der Uranus rollt um die Sonne	22
	4.2.2 Saturns Mond Titan	23
	4.2.3 Die obere Atmosphäre des Saturns	24
	4.3 Neuere Ereignisse	25
	4.3.1 Polarlichter des Jupiter erklärt	25
	4.3.2 Die unerwartete Temperatur-Veränderung Neptuns	26
	4.3.3 Wanderte Jupiter durch das Sonnensystem?	
5	. Bedeutung für die Erde	20
٦.	. Dedeatang for the Little	23
6.	. Astrofotografie	30
	6.1 Equipment	30
	6.1.1 Teleskop	30
	6.1.2 Kamera und ihre Filter	30
	6.2 Planung, Aufbau und Durchführung am Beispiel des Uranus	32
7.	. Bearbeitung am Beispiel des Planeten Uranus	34
	7.1 Vorbearbeitung der Videos	
	7.2 Stacken	
	7.3 Bildschärfung mit Giotto	

7.4 Weitere Bearbeitung	39
7.4.1 Jupiter drehen und färben	
7.4.2 Saturn scharf und farblich darstellen	
7.4.3 Uranus bearbeitet	
8. Ergebnisse	44
9. Anhang	46
9.1 Quellenverzeichnis	46
9.2 Abbildungsverzeichnis	48
9.3 Softwareverzeichnis	49
9.4 Danksagung	50
9.5 Abschlusserklärung	
J.J ADJUITUJJUI KIGI GITE	

# 1. Einleitung

Schon seit Anfang der entwicklung der Menschheit, machen sich die Menschen Gedanken über das Universum und die Geheimnisse, die außerhalb der Erde zu entdecken sind. So wurden schon vor hunderten von Jahren die Sterne beobachtet und dabei wurde festgestellt, dass manche dieser Punkte sich anders verhielten, als andere und regelmäßig an anderen Stellen zu beobachten sind. Diese wurden Wanderer genannt, was auf Griechisch "planetes" bedeutet. Daraus entstand im Deutschen der Begriff "Planet". Später untersuchte Galileo Galilei die naheliegenden Planeten genauer und heute wissen wir, dass es noch viel mehr Planeten, als nur die des Sonnensystems gibt. Ich war schon immer fasziniert von anderen Planeten und den verschiedenen Welten, die sie beherbergen. Als ich zuerst in den Projektkurs gegangen bin, wusste ich noch nicht in welche Richtung ich mich mit meiner Projektarbeit begeben wollte, doch als wir anfingen die Grundlagen der Planeten besprechen, haben sie mein Interesse wieder geweckt.



Abb.2: Gasplaneten des Sonnensystems: von unten nach oben: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun

In der folgenden Arbeit werde ich über die Gasplaneten des Sonnensystems und ihre Grundlagen schreiben, zudem werde ich neue Erkenntnisse beleuchten und auf alte Theorien, wie die der Entstehung der Planeten, eingehen. Zuletzt werde ich auf die Wichtigkeit dieser Planeten für die Menschheit und die Erde eingehen und dann meine Projektarbeit mit einer Beschreibung der Entstehung meiner Aufnahmen und ihrer Bearbeitung beenden.

# 2. Grundlagen

Im Folgenden werde ich zunächst die Definitionen der Begriffe der Planeten erläutern und dann auf einzelne Grundlagen der einzelnen Planeten, wie auch ihren Monden und Besonderheiten eingehen.

# 2.1 Definition der Planeten

Es gibt drei Arten von planetenähnlichen Himmelskörpern in unserem Sonnensystem: Planeten, Zwergplaneten und Kleinkörper. Diese zeichnen sich alle durch drei Merkmale, die Unterschiede zu Sternen, Satelliten (wie Monden) und den weiteren Himmelskörpern darstellen, aus.

Ein Planet ist durch drei Merkmale definiert, die von der Internationalen Astronomischen Union (IAU) 2006 zuletzt festgelegt wurden, die aber aus verschiedenen Gründen sehr umstritten sind.



Abb. 3: Professor Richard Binzel, Mitglied des "Planet Definition Committee" am Treffen der IAU am 24.08.2006 in Prag

Dabei ist das erste Merkmal die Umlaufbahn um einen Stern, der im Fall der Riesenplaneten die Sonne ist. Als zweites muss der Körper genug Masse besitzen, um seine hydrostatische Form, also eine annähernd runde Form, zu erreichen. Das dritte Merkmal ist eine geklärte Umlaufbahn [1].

Als die IAU sich laut eigener Angabe, aufgrund neuester Erkenntnisse und der möglichen Einstufung weiterer Objekte als Planeten, 2006 dazu entschied, die Definition des Wortes "Planet" zu ändern. Deswegen musste eine neue Bezeichnung für diese Art der Himmelskörper, entwickelt werden, um Körper, die jetzt nicht mehr Planet genannt werden konnten, benennen zu können [2]. Das führte dazu, dass der bis dahin Planet genannte Pluto nun zur Gruppe der Zwergplaneten gehörte, ebenso wie Ceres, der im Asteroidengürtel zwischen Jupiter und dem Mars bzw. im Hauptgürtel um die Sonne kreist und der, wenn die Definition nicht geändert worden wäre zu einem Planeten "geworden wäre". Alle anderen Körper im Sonnensystem, die sich auf einer Umlaufbahn um die Sonne bewegen, mit Ausnahme von Satelliten wie Monden, werden nach dieser Definition als Kleinkörper bezeichnet. Das dritte Merkmal, was aus einem Körper im Sonnensystem zu einem Planeten macht, also eine geklärte Umlaufbahn, machte den entscheidenden Unterschied für Plutos und Ceres' sowie vieler anderer Kleinkörper gemacht,

weil sie noch weitere Objekte auf ihrer Umlaufbahn besitzen. Das ist auch ein Punkt, weswegen die Definition so stark in der Kritik steht, denn auch unter den nun acht Planeten habe keiner eine geklärte Umlaufbahn [44]. Zudem heißt es von Kritikern, dass diese Definition das Universum und das Sonnensystem einfacher erscheinen lässt, als es ist. Die Definition sei sehr stark von Astrologie und Theologie beeinflusst worden, weil in diesen Kreisen alles, wie auch die Bahnen, als perfekt und einfach dargestellt wird und durch wenige Planeten die Erde besonderer erscheint. Da die Realität nicht so einfach ist, wie sie von Theologie und Astrologie dargestellt wird, wird laut den Kritikern der Natur ihre Komplexität genommen [44]. Ein weiterer Punkt gegen die Entscheidung der neuen Definition ist, dass über die Definition abgestimmt wurde, anstatt dass wissenschaftlich definiert wurde. Anscheinend seien bei der Abstimmung nur noch wenige Planetenforscher anwesend gewesen und viele Sternforscher, die wenig über die Definition der Planeten entscheiden können. Doch die Definition wird sich statt vieler Kritik nicht ändern, da es praktischer ist, wenige Planeten zu haben, die als solche definiert sind, anstatt von Hunderten, weil ständig neue Objekte entdeckt werden.

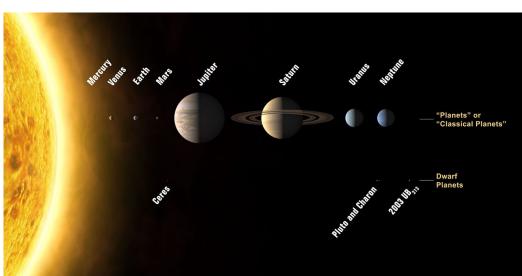


Abb. 4:
Klassische
Planeten und
Zwergplaneten
des
Sonnensystems
und
Bezeichnungen,
auf dem Stand
von 2006

# 2.2 Arten von Planeten im Sonnensystem

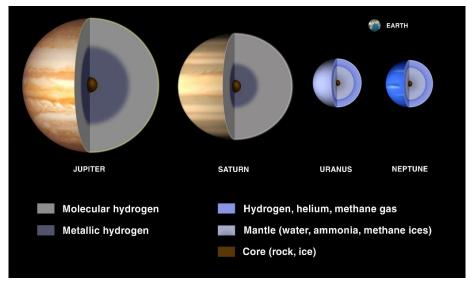


Abb. 5: Innerer Aufbau der Riesenplaneten in Größenvergleich zur Erde

Und auch unter den Planeten im Sonnensystem gibt Unterscheidungen Gruppen. Dabei gibt es die erdähnlichen Planeten. Das sind die vier zur Sonne am näch-Planeten, also sten Merkur, Venus, Erde und Mars. Sie werden auch Terrestrials genannt, das leitet sich vom Wort "Terra" ab, was der lateinische Name der Erde ist. Sie sind alle der Erde ähnlich, also mit einem

flüssigen Kern und einer harten Hülle, ähnlich groß wie die Erde [3]. Die zweite Art der Planeten des Sonnensystems, sind die jovianischen Planeten, was so viel bedeutet, wie jupiterähnliche Planeten. Eine andere Bezeichnung für sie ist auch Riesenplaneten und wie der Name schon vermuten lässt, sind sie im Gegensatz zu den anderen Planeten riesig bzw. größer als die Erde. Unter diese Kategorie fallen die Planeten Jupiter und Saturn, sowie Neptun und Uranus [4]. Die Riesenplaneten wurden nach der Entdeckung von Neptun und Uranus nochmal in zwei Gruppen unterteilt, nämlich die Gasriesen und die Eisriesen. Diese Gasriesen sind Jupiter und Saturn und sie bestehen größtenteils aus Gasen wie Helium und Wasserstoff und werden auch teilweise "failed stars" genannt, weil sie Bestandteile sehr ähnlich denen der Sterne besitzen. Sie haben einen festen Kern und eine Gashülle darum, wie man auf der Abbildung 5 erkennen kann [5]. Die Eisriesen sind Uranus und Neptun sind fester und schwerer als die Gasriesen, aber ebenfalls mit einem festen Kern. Sie zeichnen sich dazu durch Elemente, die schwerer als Wasserstoff und Helium sind, wie zum Beispiel Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel, aus. Sie bestehen aber trotz ihres Namens hauptsächlich nicht aus Eis, sondern aus Gasen und flüssigen Stoffen [6].

# 2.3 Aufbau des Sonnensystems

Das Sonnensystem besteht aus der Sonne, acht Planeten mit vielen Satelliten, vier Zwergplaneten und vielen kleineren Körpern, die teilweise nur hindurchfliegen, aber teilweise auch in Ringen und ähnlichen um Objekte herumfliegt. Das Sonnensystem ist also alles, was von der Gravitation der Sonne in dem Bereich um die Sonne festgehalten wird [42]. Diese acht Planeten sind Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Sie kreisen in dieser Reihenfolge um die Sonne. Zwischen Mars und Jupiter liegt jedoch ein Ring aus Kleinkörpern. Das ist der Asteroidengürtel, der den Zwergplaneten Ceres beheimatet. Laut Theorien ist dieser Gürtel entstanden, weil der Jupiter und der Mars diese Körper davon abgehalten haben zusammenzukleben. Dadurch ist aus den einzelnen Teilen kein Planet geworden, sondern ein Gürtel, der sich in einem Ring um die Sonne bewegt. Früher dachte man, er sei entstanden, weil ein Planet, der vor langer Zeit an der Stelle des Gürtels war, explodiert ist und sich in viele kleine Teile aufgeteilt hat, die jetzt den Gürtel bilden. Diese Idee wurde jedoch verworfen. Und es gibt weitere und neuere Theorien, die Eigenschaften des Gürtels, die mit den bisherigen Theorien nicht erklärbar gewesen wären, aufgreifen und erklären können [7].

Das Sonnensystem besitzt noch einen zweiten Gürtel aus Kleinkörpern, die hinter dem Neptun auf einer 35-200 AE breiten Fläche um die Sonne kreisen, was etwa 5,23 Milliarden-29,9 Milliarden Kilometer entspricht. Er besteht ebenfalls aus Kleinkörpern und seine Entstehung ist ebenfalls ungeklärt, aber es wird auch vermutet, dass er von einer Gravitation von einem anderem Körper aufgehalten wurde. Im Kuiper-Gürtel sind die Zwergplaneten Pluto und Charon zwei der Objekte, die um die Sonne kreisen. Pluto ist im Gürtel an einer Stelle, die näher an der Sonne ist, was dazu geführt hat, dass früher davon ausgegangen wurde, dass er dort allein sei. Aber mit der Zeit wurden immer mehr Objekte entdeckt, die zusammen mit Pluto den Kuiper-Gürtel bilden. In Abbildung 6 kann man die Planeten und ein paar ihrer Monde, sowie die Asteroidengürtel und da unter die relativen Abstände der Planeten erkennen [42][43].

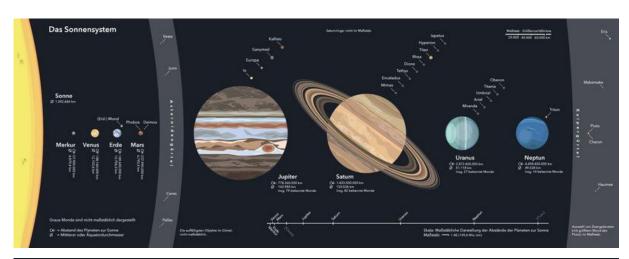




Abb. 6: Darstellung des Sonnensystems, von Wiki-User Beinahegut Von links nach rechts: Merkur, Venus, Erde, Mars, Asteroidengürtel, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Kuiper-Gürtel, mit jeweils den bekanntesten Monden Da unter Darstellung der relativen Abstände der Planeten, Ceres (mit dem Asteroidengürtel) und Pluto (mit dem Kuiper-Gürtel).

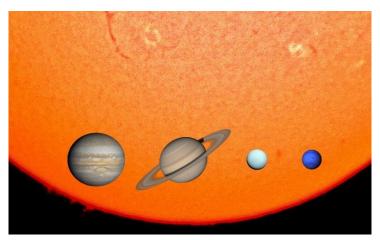


Abb. 7: Die Gasriesen im Größenverhältnis zur Sonne, von links nach rechts: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, im Hintergrund die Sonne

# 3. Vorstellung der Planeten

In diesem Abschnitt geht es um die Planeten, mit allgemeinen Fakten und Besonderheiten, wie auch ihre größten bzw. bekanntesten Monde und deren Besonderheiten. Angefangen mit Jupiter und seinen Galileischen Monden, wird es um die größten oder bekanntesten Monde und Besonderheiten der Planeten gehen.

# 3.1 Jupiter

# 3.1.1 Allgemeines und Besonderheiten

Jupiter ist der größte Planet der Riesenplaneten, der auch am nächsten zur Sonne liegt und die meiste Masse der Planeten im Sonnensystem. Er braucht etwa 12 Jahre für einen Umlauf um die Sonne, welchen er in einer durchschnittlichen Entfernung von 778 Millionen Kilometern (etwa 5,2 Astronomische Einheiten) zur Sonne bestreitet [8]. Sein Kern besteht vermutlich aus festen Metallen, Wasserstoff und Gestein, während darüber eine Schicht von festem metallischem Wasserstoff ist, worüber flüssiger Wasserstoff liegt. Darauf folgt eine dicke und stürmische Gashülle. Die Atmosphäre besteht größtenteils aus Wasserstoff und Helium, aber auch Ammoniak und Methan sind in eher geringen Teilen in den Wolken zu finden, das Ende der Gashülle ist da zu erkennen, wo sie durchsichtig wird [11][7].

Dadurch, dass ein Tag auf dem Jupiter nur etwa 10 Stunden lang ist, also er sehr schnell rotiert, ist er am Äquator leicht "ausgebeult" und es entstehen lange Streifen und Bänder

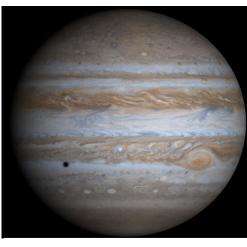


Abb. 8: Jupiter in natürlichen Farben mit Schatten des Mondes Europa, fotografiert von der Raumsonde Cassini

aus Wolken auf seiner Atmosphäre. Diese machen sein Aussehen aus. Eine der interessantesten Dinge am Aussehen des Planeten ist jedoch der Große Rote Fleck, der ein durchschnittlich 40000 km großer Wirbelsturm ist, der schon seit Jahrhunderten auf der Südhalbkugel des Jupiters stürmt und sich mit hoher Geschwindigkeit gegen den Uhrzeigersinn um sich selbst dreht und dabei 8 km über den Wolken ständig seine Größe ändert. Er wird schon seit über 300 Jahren beobachtet, was zu vielen Schlüssen



Abb. 9: Jupiter mit Mond Io, eigene Fotografie, Schülerlabor Astronomie CFG, Station 7, am 22. September 2021

über ihn geführt hat, so dass wir relativ Wissen über ihn haben. Er ist auch sehr gut für Amateurbeobachter zu beobachten, weil er in einer hellen Bucht der Jupiteratmosphäre liegt und selbst recht dunkel ist, was seine Beliebtheit erklärt. Allgemein besitzt der Jupiter eine sehr turbulente Atmosphäre, was man auf eine innere Energiequelle zurückführt [7][9]. Der Jupiter hat eine sehr hohe Anziehungskraft, das ist auf seinen großen Durchmesser von 142 984 und seine Masse von 1.899 · 10<sup>27</sup> kg zurückzuführen ist und wodurch er viele Monde (zurzeit etwa 80) und einen Ring zwischen

ihm und der Mars-Umlaufbahn erzeugt [10]. Theorien gehen davon aus, dass die Gravitation von Mars und Jupiter die Planetoiden im Gürtel davon abgehalten hat zu einem großen Brocken bzw. Planeten zu werden [7].

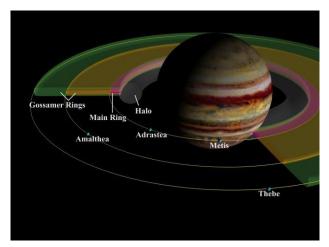


Abb. 10: Schematischer Aufbau der Jupiterringe

Durch die hohe Gravitation entstanden um Jupiter herum Ringe, wie man sie in der Allgemeinheit nur von Saturn kennt. Sie sind recht dünn und deshalb kaum zu erkennen und waren unbekannt bis 1979, als die Raumsonde Voyager 1 sie entdeckte, auch wenn man sie seit 1974 schon vermutet hatte. Sie bestehen hauptsächlich aus Eis und Gesteinsbrocken, die als Meteorit gegen die Monde Jupiters prallten und sich dann in kleine Teile und Staub teilten. Der Hauptring (siehe Abb. 10: Main Ring) ist etwa 30 bis 300 km breit und die Gossamer-Ringe, die man auf der Abb. 10 erkennen kann, sind zusammen etwa 150 000 km breit. Und die Ringe sind um ca. 20° zum Jupiter-Äquator geneigt [7][12].

# 3.1.2 Jupiters Monde

Jupiter besitzt 80 zurzeit entdeckte Monde, die teilweise schon gut erforscht wurden, während andere erst vor kurzem entdeckt wurden. Alle Jupitermonde wurden von der IAU nach Töchtern und Geliebten des Gottes Jupiter benannt, nach dem ihr Planet benannt ist. Die die jedoch als erste entdeckt wurden, sind die vier Galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Callisto, die auch die größten Monde des Jupiters sind [13]. Galileo entdeckte sie 1610 mit seinem Fernrohr. Sie befinden sich in Äquatorebene und sind von der Erde bei guten Verhältnissen auch mit bloßem Auge erkennbar [16]. Die Beobachtung dieser Monde brachte für ihn einen entscheidenden Beweis für ein heliozentrisches Weltbild. Dadurch zog er die Aufmerksamkeit der Kirche und der allgemeinen Bevölkerung auf sich, die bis dahin von einem geozentrischen Weltbild geprägt waren, das davon ausging, dass sich alles um die Erde dreht und die Erde der Mittelpunkt des Universums oder zumindest der näheren Umgebung sei. Dieses neue Weltbild, was von der Sonne als Mittelpunkt des Sonnensystems ausging, was damals natürlich noch nicht auf diese Weise bekannt war, stieß auf Zorn der Kirche und sie sorgte dafür, dass Galilei wegen Ketzerei verurteilt wurde, da die Kirche stark versuchte ihr Geozentrisches Weltbild zu verteidigen [14][15].

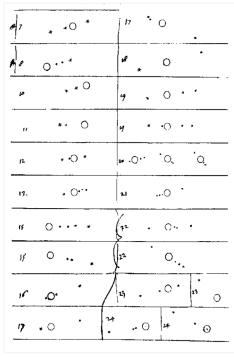
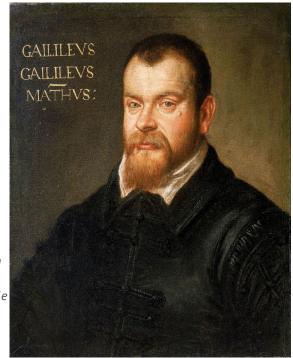


Abb. 12: Galileo Galilei, gemalt von Domenico Tintoretto

Abb. 11: Galileis Zeichnungen der Jupitermonde



### 1. lo

Io ist mit einem Durchmesser von 3643,2 km der erste Galileische Mond des Jupiters [9] und besitzt eine Masse von etwa 893 · 10<sup>20</sup> kg, was etwa 1.22mal die Masse des Erdmonds ist, mit einer Dichte von 3.53 g/cm<sup>3</sup>. Io ist der Galileische Mond, der am nächsten zum Jupiter liegt und scheint in gelblichen Farben. Diese Farbe kommt vom hohen Schwefelanteil, der wegen hohem Vulkanismus zustande kommt. Dieser äußert sich durch viele Vulkane, die Schwefeldioxid in die Atmosphäre Io's spucken, das dann als eine Art Schnee wieder auf die Oberfläche zurückregnet, außerdem sind teils 100km lange und 15 km breite Lavaströme auf lo zu erkennen. Dieser starke Vulkanismus lässt sich mit den Gezeitenkräften, die von Jupiter ausgeübt werden, erklären, die dafür sorgen, dass Io sich regelmäßig aufheizt und wieder abkühlt.

Io besitzt keine Krater und hat eine sehr glatte Oberfläche, die einen festen Kern aus Eisen und eine Zwischenschicht umschließt, die eine Temperatur von etwa -140°C hat, während in den Vulkanen eine Temperatur von bis zu 1250 °C herrscht. Diese Zwischenschicht beinhaltet laut Theorien einen Ozean. [16][17]



Abb. 13: Io, aufgenommen aus einer Entfernung von 130.000 km von der Raumsonde Galileo am 3. Juli 1999

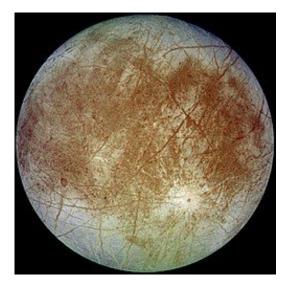


Abb. 14: Europa, aufgenommen aus einer Entfernung von 677.000 km von der Raumsonde Galileo am 7. September 1996

### 2. Europa

Europa ist der zweite Galileische Mond des Jupiters und hat einen Durchmesser von 3121,6 km. Mit einer Masse von 480 · 10<sup>20</sup> kg, was ungefähr 0.65 Massen des Erdmonds sind, ist Europa etwa halb so schwer wie Io, hat aber dafür eine Dichte von 3.01 g/cm<sup>3</sup>. Ebenso wie Io besitzt Europa einen metallischen Kern aus Eisen und Nickel, und darüber einen Mantel aus Gestein. Darauf folgt eine sehr harte Eiskruste von 100km, aber man vermutet Meere etwa 50km unter der Oberfläche. Diese Ozeane sind vermutlich durch Gezeitenkräfte und eine Wechselwirkung der Anziehung von Jupiter, ähnlich wie Vulkanismus lo's, entstanden, Meeresboden, der aus Gestein besteht, mit heißen Quellen und Nährstoffen ausstatten könnten. Das führt dazu, dass Mikrobiologie auf Europa deutlich denkbar wäre. Durch diese Gezeitenkräfte hebt und senkt sich aber auch beständig die Oberfläche des Mondes um bis zu 30 Meter. Darauf lassen die Faserstrukturen, auf der Oberfläche schließen, da sie auf Zusammenziehen und Ausdehnen hindeuten. [9][16][17]

### 3. Ganymed

Ganymed ist der dritte, aber größte Galileische Mond des Jupiters. Und auch der größte bekannte Mond des Sonnensystems. Denn er hat einen Durchmesser von etwa 5268 km, auch seine Masse ist sehr hoch im Vergleich zu Io und Europa, denn Ganymed ist etwa 1482 · 10<sup>20</sup> kg schwer, was ungefähr 2,02mal die Masse des Erdmonds ist. Die Dichte dieses Mondes beträgt dafür nur ungefähr 1,94 g/cm<sup>3</sup>. Auch Ganymed besitzt einen Kern aus Eisen und einen Gesteinsmantel darum. Darüber liegt ebenfalls eine Schicht aus Eis, die aber von einer Kruste aus einem Eis-Gesteins-Gemisch überdeckt ist. Dazu hat der Mond eine dünne Sauerstoffatmosphäre. Und auch bei ihm wird ein flüssiges Meer aus Wasserstoff unter der Oberfläche vermutet [16]. Ganymed besitzt im Gegensatz zu Io und Europa viele Krater, die alle weiß sind, weil sich dort frisches Eis durch Einschläge mit Meteoriten und ähnlichem offenlegt [9].



Abb. 15: Ganymed, aufgenommen von der Raumsonde Juno im Juni 2021

Abb. 16: Callisto, aufgenommen von der Raumsonde Galileo im Mai 2001

### 4. Callisto

Der letzte Galileische Mond ist Callisto (oder auch Kallisto) und ist der von ihnen vom Jupiter am weitesten entfernte Mond. Callisto ist mit 4820.6 km Durchmesser größer als Io und Europa, aber kleiner als Ganymed und hat eine Masse von 1076 · 10<sup>20</sup> kg, was etwa 1,46 Massen des Erdmonds entspricht. Das führt zu einer Dichte von etwa 1,94 g/cm<sup>3</sup>, was ebenfalls die Dichte Ganymeds ist [9][16]. Callisto besitzt einen Kern, der größtenteils aus Gestein und Eis besteht und worüber möglicherweise ebenfalls ein diesmal salziger Ozean liegt [17]. Die Kruste besteht aus Fels und Eis und ist Jahrmilliarden alt, mit dementsprechend vielen Kratern, die hell sind, weil ebenso wie bei Ganymed, an diesen Stellen frischeres Eis an die Oberfläche trifft. Die Atmosphäre des Mondes setzt sich aus überwiegend Kohlenstoffdioxid zusammen [9][16].



Abb. 17: Jupiter mit seinen vier Galileischen Monden, aufgenommen von der Raumsonde Juno am 21. Juni 2016 in 10.9 Millionen km Entfernung

# 3.2 Saturn

# 3.2.1 Allgemeines und Besonderheiten

Saturn ist der sechste Planet im Sonnensystem und durch einen Durchmesser von etwa 120 540 km, der zweitgrößte Planet im Sonnensystem nach dem Jupiter. Mit durchschnittlich 1,427 Milliarden km Entfernung zur Sonne, braucht er etwa 30 Erdjahre für einen Umlauf um die Sonne. Er besteht aus Helium und etwa 96% Wasserstoff und ist dementsprechend sehr leicht und wenig dicht. Seine Dichte

ist nur etwa 30% der Dichte des Jupiters, also etwa 0,69 g/cm<sup>3</sup>. Das macht ihn auch blasser, als es zum Beispiel Jupiter ist, aber ansonsten ist er Jupiter recht ähnlich. Zum Beispiel hat Saturn, wie auch Jupiter, wegen der schnellen Rotation um die eigene Achse, Bänder auf seiner Oberfläche, die aus Wolken bestehen und ist auch leicht ausgebeult am Äquator [18]. Saturn hat einen festen Kern aus Eis und Gestein, der etwa 17% der gesamten Saturnmasse ausmacht. Über diesem Kern liegt eine Schicht metallischem aus

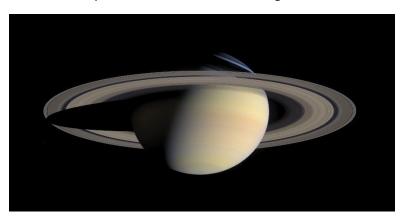


Abb. 18: Saturn in natürlichen Farben, aufgenommen von der Raumsonde Cassini am 6. Oktober 2004, aus einer Entfernung von etwa 6,3 Millionen km

Wasserstoff, die nach etwa 0.47 Saturnradien zu einer Schicht aus molekularen Wasserstoff entwickelt. Die Atmosphäre des Saturns besteht aus Wasserstoff und deshalb gibt es keinen genauen Punkt, an dem die Atmosphäre beginnt oder endet oder eine definierte Oberfläche [7][19]. Die Wolken auf der Oberfläche sind teils gasförmig und flüssig. Sie bilden die Bänder und rotieren in unterschiedlichen Richtungen um den Planeten. An Stellen, an denen diese entgegengesetzten Strömungen aufeinandertreffen entstehen große Stürme, weil an diesen Stellen die Atmosphäre aufgewirbelt wird [18].

Das jedoch auffälligste Merkmal des Saturns sind seine Ringe, von denen drei schon mit einem Fernglas zu erkennen sind. Insgesamt haben sie einen Durchmesser von ungefähr 275 000 km und bestehen, wie auch die Ringe Jupiters, aus Materiebrocken aus Eis, die mit hoher Geschwindigkeit um den Saturn rotieren. Sie sind so dicht, dass sie einen gut erkennbaren Schatten auf dem Planeten hinterlassen und

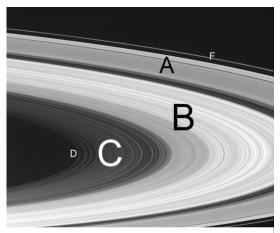


Abb. 19: Saturns Ringe: Die Hauptringe A bis D und F sind gekennzeichnet, aufgenommen von der Raumsonde Cassini-Huygens, 2004

einen Schatten des Saturns, wie auf Abbildung 18 erkennbar, zeigen. Sie sind über eine Umlaufzeit Saturns von allen Seiten zu sehen, da die Ringe mit dem Saturn-Äquator um etwa 27° geneigt sind, das sorgt dafür, dass sie periodisch von der Erde aus von der Seite zu erkennen sind oder man auf eine große Ringöffnung schaut. Das Ringsystem setzt sich aus vielen verschiedenen Ringen, die mit Buchstaben benannt wurden. Es gibt die Hauptringe A bis D, die die größten und hellsten Ringe sind. Der B-Ring, wie auf der Abbildung 19 erkennbar, ist der dickste und hellste Ring, er ist recht mittig und näher zum Saturn. Direkt daneben ist der C-Ring erkennbar, der deutlich schwächer als der B-Ring zu beobachten ist. Der D-Ring, der noch näher am Saturn liegt, leuchtet nur sehr schwach und reicht bis in die Wolkenschicht des Planeten. Der A-Ring ist der äußerste der Hauptringe



Abb. 20: Saturn in natürlichen Farben, eigene Aufnahme vom 22. September 2021

und zwischen ihm und dem B-Ring liegt die so genannte Cassini-Teilung, die einen Spalt zwischen den beiden Ringen darstellt, was auch gut auf der Abbildung zu erkennen ist [18]. Diese wurde nach dem Wissenschaftler Giovanni Cassini benannt, da er sie 1675 entdeckte. Sie ist nicht komplett leer, sondern besteht aus dunklem Material und aus dunklen Ringen, die an den Grenzen der Spalte sind. Sie entstand durch Resonanzeffekte des Systems, da Teilchen, die in der Cassini Teilung sind, etwa die Hälfte der Umlaufzeit des Mondes Mimas besitzen und dadurch sehr instabile Bahnen haben. Das führt dazu, dass sie aus diesem Bereich driften und in einem der Ringe bleiben. Es gibt weitere Teilungen zwischen den einzelnen Ringen, die ähnlich entstanden sind [20].

Abgesehen von den Hauptringen gibt es drei weitere Ringe, die außerhalb des A-Rings liegen und deutlich schwächer sind als die Hauptringe. Auf Abbildung 19 kann man auch den F-Ring sehen, der der nächste große Ring jenseits des A-Rings ist und 1979 durch die Raumsonde Pioneer 11 entdeckt wurde. Darauf folgt der G-Ring, der recht schwach ist und ein Jahr nach dem F-Ring, im November 1980

entdeckt wurde, als die Raumsonde Voyager 1 den Saturn umflog [18][21]. Der letzte Ring ist der E-Ring. Er ist der äußerste Saturnring im Ringsystem und liegt zwischen der Bahn der Monde Mimas und Rhea. Laut Theorien wird er von dem Mond Enceladus gespeist, dessen Umlaufbahn teils auf dem Ring liegt. Der E-Ring war lange ein Rätsel für Forscher, denn er ist deutlich weniger flach und definiert als die anderen Ringe. Enceladus sorgt dafür, dass dieser Ring entsteht, dadurch dass auf ihm ständig kryovulkanische Regionen auf seinem Südpol Material ausstoßen, das dann in den Ring kommt, weil Enceladus' Flucht-

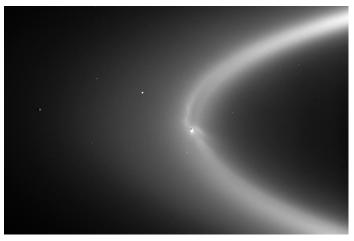


Abb. 21: Der E-Ring mit dem Mond Enceladus, der von seinem Südpol Material ausstößt.

geschwindigkeit mit etwa 866 km/h recht gering ist, denn dadurch gelangen die Partikel in den Orbit. Und auch wenn viel wieder zurück auf die Oberfläche regnet, bildet sich daraus der E-Ring. Außerdem werden Teilchen durch Einschläge von anderen Mikrometeoriten freigesetzt [22][23].

### 3.2.2 Saturns Monde

Saturn besitzt 82 entdeckte Monde, das sind mehr Monde, als bei Jupiter zurzeit bekannt sind. Aber da diese Zahlen ständig ansteigen, bedeutet das nicht, dass der Saturn mehr Monde besitzt als Jupiter. Der erste Mond wurde 1655 entdeckt, das war der größte Mond Saturns, Titan, und bis heute werden immer wieder neue entdeckt und besonders zwischen 2003 und 2009 kamen jährlich neue Monde dazu. Die Monde, die im Ringsystem ihre Bahn haben und die Ringe in ihrer Form halten, nennt man Hirtenmonde. Der größte Mond Saturns ist der Mond Titan und danach kommt der Mond Rhea. Die Monde sind, ähnlich wie die Ringe und wie alle Monde des Sonnensystems nummeriert und der Mond mit der Nummer 1 bzw. der römischen 1, also I, ist der Mond Mimas, danach kommt Enceladus und darauf folgt mit Nummer III Tethys. Die Monde sind nach Figuren aus der klassischen Mythologie benannt [25][11].

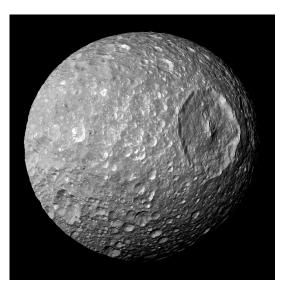


Abb. 22: Mimas, aufgenommen von Cassini am 13. Februar 2010 aus 50.000 km Entfernung, mit dem Krater Herschel (oben links auf dem Mond)

### 1. Mimas

Mimas ist der erste Mond Saturns und hat einen Durchmesser von etwa 397 km. Mit einer Masse von 0.379 · 10<sup>20</sup> kg, was etwa 0.0005 Erdmondmassen entspricht, ist er sehr leicht. Er besitzt zudem eine Dichte von etwa 1.15 g/cm<sup>3</sup> und durchschnittlichen Temperatur von -201°C. Die Oberfläche dieses Mondes besteht aus wenig Gestein und viel Wassereis und ist mit vielen großen Einschlagskratern übersät, was man auf der Abbildung 22 erkennen kann. Mimas besitzt einen riesigen Krater, den man aus der Abbildung auch sehr gut in der linken oberen Ecke der Mondscheibe erkennen kann. Dieser Krater trägt den Namen Herschel und er hat einen Durchmesser von 130 km, was etwa 33% des Gesamtdurchmessers von Mimas entspricht und mit fast 9 km hohen Kraterwänden, mit einem Zentralberg, der 4-5 km hoch ist, ist er sehr gut zu erkennen [24].

### 2. Enceladus

Enceladus besitzt, wie im Text über das Ringsystem erwähnt, viele Geysire, die in kryovulkanischen Gebieten entstehen. Diese entstehen vermutlich aufgrund von Wechselwirkungen mit dem Magnetfeld Saturns, und unter den Gevsiren existieren Wasserbecken, die nur wenige Meter unter Oberfläche filamentartig vom Mond wegströmen. Ansonsten besitzt Enceladus eine Oberfläche aus Wassereis mit feinkörnigen Eispartikeln darauf, weil die Eisbrocken des E-Rings zurück auf den Mond regnen. Er besitzt einen Durchmesser von 499 km und ist damit größer als Mimas. Die Oberfläche scheint blau und zeigt viele Rillen und Vertiefungen auf, die bis zu 1000m tief werden können. Das sind auch teilweise große Canyons, die bis zu 200 km lang und 5-10 km breit werden können. Die Dichte von 1.61 g/cm³ lässt, bei seiner Masse von 1.08 · 10<sup>20</sup> kg, darauf schließen, dass er ganz aus Eis besteht, während die Temperatur im Mittel des Mondes etwa 193°C beträgt und an den Polen etwa -163°C. Enceladus ist vermutlich schon mehrere Milliarden Jahre alt [24].



Abb. 23: Enceladus in falschfarben, aus vielen Bildern der Raumsonde Cassini zusammengesetzt, aus dem Sommer 2005

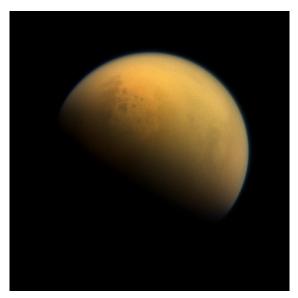


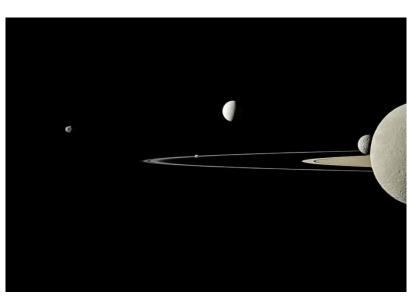
Abb. 24: Titan in orangenen Farben, mit Blick auf die Methan- und Ethan-Gewässer, aufgenommen von der Raumsonde Cassini am 7. Oktober 2013

### 3. Titan

Titan ist der größte Mond der Saturnmonde und hat einen Durchmesser von 5150 km. Damit ist er sogar größer als Merkur und der zweitgrößte Mond im Sonnensystem direkt nach Jupiters Mond Ganymed. Insgesamt besitzt Titan eine Masse von 1346 · 10<sup>20</sup> kg, was ungefähr 1.83mal dem Erdmond entspricht. Und eine Dichte von 1.88 g/cm³, was dichter ist als die Dichte von Mimas und Enceladus. Er hat eine dicke Atmosphäre, die hauptsächlich aus Stickstoff und Methan besteht und dicke orangefarbene Wolken, wie man auf der Abbildung 24 erkennen kann. Die Wolken überdecken hochnebelartig die Atmosphäre, was den ganzen Mond orange erscheinen lässt, obwohl er bläulich scheinen würde, durch das Methan in seiner Atmosphäre und auf der Oberfläche. Methan ist in der Oberfläche in den unteren Schichten mehr vertreten als in den oberen, bis es weiter unten zu flüssigem Methan kondensiert.

Titans Temperatur liegt durchschnittlich bei -180°C, was zu großen Methanseen, mit flüssigem Methan führt [18]. Diese Seen und Flüsse bestehen nur aus 20% Methan, denn sie bestehen auch aus 75% Ethan und 5% Stickstoff. Titan ist durch diese Seen und die weiteren Gewässer der einzige Ort des Sonnensystems, außer der Erde, der auf diese Weise stabile flüssige Stoffe beheimatet [27]. Methan wird durch solare UV-Strahlung in 10-100 Millionen Jahren zerstört, aber laut einer Vermutung, erhält sich durch Kryovulkane das Methan auf dem Mond, denn die Vulkane stoßen neues Methan aus. Die Existenz solcher Vulkane wurde von der Raumsonde Cassini teilweise nachgewiesen, als sie 2004 einen Vulkankrater von einem Eisvulkan fand, der optisch so wirkte, als würde er Methan in die Atmosphäre speien. Das sorgte dafür, dass die Wissenschaftler die Theorien, die sie bis dahin hatten, komplett in Frage zu stellen, da die Atmosphäre ihr Methan nicht aus den Ozeanen und Flüssen ziehen muss, sondern aus dem Vulkan kommen könnte. Doch auf weiteren Raumsondenmissionen waren teilweise Seen und Ozean auf den Bildern zu erkennen, wie man auch auf Abbildung 24 sehen kann. [24][26]

Abb. 25:
Saturns Ringe
mit fünf seiner
Monde,
aufgenommen
von der
Raumsonde
Cassini am 12.
September
2011 in 1,528
km Entfernung
zum nächsten
Mond Rhea



Beschreibung:
Janus links;
Pandora am
F-Ring in der
Mitte des
Bildes;
Enceladus sehr
hell über dem
Zentrum des
Bildes;
Rhea an der
rechten Kante;
Mimas kleiner
direkt links von
Rhea

### 3.3 Uranus

# 3.3.1 Allgemeines und Besonderheiten

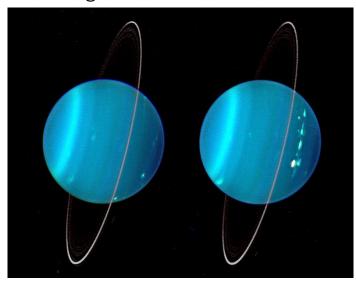


Abb. 26: Die zwei Hemisphären des Uranus vom Keck-Teleskop in Infrarot aufgenommen, im Juli 2004, der Nordpol ist rechts.

Der nächste Planet jenseits Saturns ist Uranus. Er ist der drittgrößte Planet im Sonnensystem, aber der größere der Eisplaneten, durch einen Durchmesser von 51 118 km. 1781 wurde er von William Herschel entdeckt, der aber anfangs dachte, er würde einen Stern oder Kometen beobachten, als aber ein anderer Astronom den Uranus ebenfalls beobachtete wurde er 1783 als Planet anerkannt [11][29]. Er braucht etwa 84 Jahre für einen Umlauf um die Sonne. Diese umkreist er fast liegend, also mit starker Neigung, was dafür sorgt, dass wir ihn immer von oben brachten. Also liegt sein Äquator aus unserer Sichtweise um fast 90° gedreht und ein Pol wird durchgehend von der Sonne beschienen, während der andere nicht von der Sonne

beschienen wird und alle 42 Jahre wechselt sich der beschienene Pol, weil nach 42 Jahren die Hälfte der Umlaufbahn um die Sonne erreicht ist. Der Grund dafür ist in der Forschung umstritten [28][11]. Der Uranus hat einen Kern aus Eisen und Silicium, über dem ein Mantel aus Eis aus Ammoniak, Wasser und Methan liegt. Dieser Mantel macht 80% der Uranusmasse aus. Die äußere Gashülle, die dagegen 15% der Uranusmasse ausmacht besteht aus Gas und Eis, diese sind größtenteils im gasförmigen aber teilweise auch im verflüssigten Zustand. Und durch das Methan in seiner Atmosphäre scheint der ganze Planet blau, weil das Methan das rote Licht absorbiert und nur das blaue Licht reflektiert. Dieser Prozess sorgt auch für das fast konturlose Aussehen. Uranus besitzt eine dünne Wolkenschicht mit Winden mit 50 bis 800 km/h, die um den ganzen Planeten reicht. Unter den Wolken herrschen Temperaturen von bis zu -210°C [7][28].

Auch Uranus hat ein Ringsystem, das im März 1977 entdeckt wurde. Theoretisch ist Wilhelm Herschel der eigentliche Entdecker der Ringe, denn er hat 1797 eine so genaue Zeichnung der Ringe gemacht,

so dass nicht abstreitbar ist, dass es die Ringe waren. So waren diese Aufzeichnungen die ersten vom Ringsystem des Uranus'. Doch sie wurden lange nur für eine optische Täuschung gehalten, bis 1977 bei einer Sternbedeckung. Damals hat etwa man 10 Ringe gefunden, mittlerweile sind 13 Ringe bekannt. Sie sind parallel zum Äquator des Planeten gerichtet, so dass wir die Ringe von der Erde aus von oben beobachten können. Manche der Ringe sind kaum erkennbar und andere recht gut, während der äußerste Ring der hellste ist [11][28].

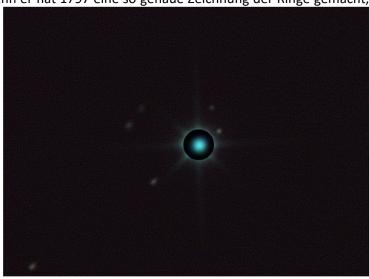


Abb. 27: Uranus mit 5 Monden, eigene Aufnahme, aufgenommen am 10. November 2021

### 3.3.2 Uranus' Monde

Der Uranus hat 27 entdeckte Monde, die im Gegensatz zu den anderen Monden im Sonnensystem nicht nach Göttern oder anderen Figuren der alt-griechischen Mythologie benannt, sondern nach Charakteren aus den Werken von William Shakespeare und Alexander Pope. Bekannte Beispiele dafür sind Miranda und Titania, die aus dem Stück "Der Sturm" und "Ein Sommernachtstraum" von Shakespeare entstammen. Die mittlere Dichte der fünf größten Monde, der Hauptmonde des Uranus Titania, Umbriel, Oberon, Ariel und Miranda, ist sehr gering, was auch durch eine geringe Masse, das Satellitensystems des Uranus zum Masseärmsten des Sonnensystems macht. Als die Voyager 2 1986 den Planeten erreichte, entdeckte sie 11 Monde, die bis dahin unbekannt waren und bis heute werden immer wieder Neue entdeckt. Zuletzt wurden drei Monde 2003 durch Fotos des Hubble-Teleskops entdeckt. [7][31][32]

### 1. Miranda

Miranda ist der zum Uranus nächste, aber der kleinste der Hauptmonde, mit einer Masse von 0.66 · 10<sup>20</sup> kg, was ungefähr 0.0009 Erdmondmassen entspricht. Der Mond hat ebenfalls die geringste Dichte der Hauptmonde, mit 1.2 g/cm<sup>3</sup>. Miranda besitzt eine sehr unebene Oberfläche, die sehr unterschiedliche Strukturen aufweist. Es besteht die Theorie, dass Miranda bereits mindestens einmal zertrümmert worden sein könnte, was diese Unförmigkeit erklären würde. Dabei geht man davon aus, dass sich der Mond aus den Bruchstücken neu geformt habe. Mittlerweile geht man jedoch davon aus, dass vor langer Zeit Miranda durch ständig wechselnde Gezeitenkräfte im Innern aufgeheizt wurde. Diese wechselnden Gezeitenkräfte seien durch Bahnresonanzen mit den anderen Uranusmonden entstanden. Wegen dieser Aufheizung seien die Eismassen aufgestiegen und haben den Kern überdeckt. [28][30][33]

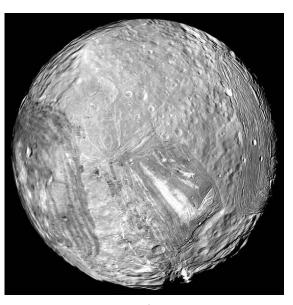


Abb. 28: Miranda, aufgenommen von der Raumsonde Voyager 2 am 24. Januar 1986

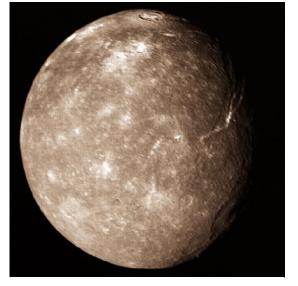


Abb. 29: Titania, aufgenommen von der Voyager 2 aus 500 000 km Entfernung am 24. Januar 1986

### 2. Titania

Der größte der Uranusmonde ist Titania, denn mit einer Größe von 1578 km als Durchmesser, ist er größer als der zweitgrößte Mond Oberon (mit 1522 km). Auch die Dichte dieses Mondes ist die Größte der Hauptmonde, denn sie liegt bei etwa 1.71 g/cm<sup>3</sup>, was nicht sonderlich viel für einen Mond ist, jedoch für die Hauptmonde des Uranus viel erscheint. Seine entspricht etwa der von Erdmondmassen, was etwa 35 · 10<sup>20</sup> kg sind. Der Mond besteht aus Gestein und Eis und seine Oberfläche ist mit Eis und Kratern übersät. Außerdem besitzt Titania tiefe Schluchten und Canons, die teilweise hunderte Kilometer lang sind [30][31].

### 3. Umbriel

Umbriel ist der drittgrößte Mond des Uranus' und das durch einen Durchmesser von etwa 1169 km. Er ist ein Eismond und besteht aus Eis und Gestein. Er besitzt flächendeckend Krater, aber scheint sich ansonsten in den letzten Jahrhunderten nicht sonderlich verändert zu haben. Seine Masse entspricht etwa 11,72 · 10<sup>20</sup> kg und er besitzt eine Dichte von 1.39 g/cm³. Umbriel besitzt mehr und größere Krater als Titania und Miranda, dabei hat er einen Krater, der deutlich auffälliger ist als die anderen. Dieser liegt in der Nähe des Äquators und besteht aus hellem Material, er ist vermutlich durch einen Einschlag mit einem Asteroiden entstanden, wodurch helleres, frischeres Eis freigesetzt wurde [31][34].

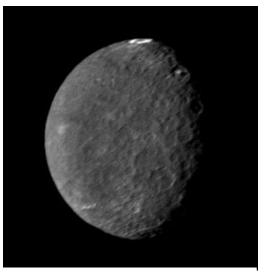


Abb. 30: Umbriel aufgenommen von der Voyager 2 am 24. Januar 1986, aus 557 000 km Entfernung

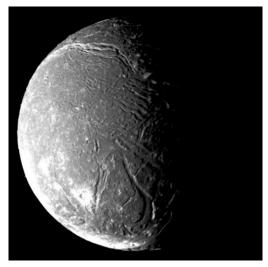


Abb. 31: Ariel aus 130 000 km Entfernung von der Raumsonde Voyager 2 am 24. Januar 1986

### 4. Ariel

Der vierte Hauptmond ist der Mond Ariel. Er besitzt einen Durchmesser von 1158 km und ist damit der viertgrößte Uranusmond. Er besteht ebenfalls aus Eis und Gestein und seine Oberfläche besitzt viele Krater und tiefe Risse, die teilweise hunderte Kilometer lange und bis zu 10 km tiefe Graben sind. Vermutlich sind diese entstanden, weil Ariels Kruste sich vor vielen Jahren ausdehnte und aufriss [28][31].

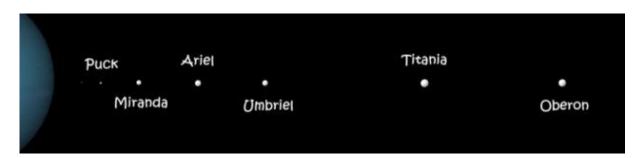


Abb. 32: Darstellung des Uranus', mit seinen Monden Puck, Miranda, Ariel, Umbriel, Titania und Oberon

# 3.4 Neptun

# 3.4.1 Allgemeines und Besonderheiten

Neptun ist der letzte Planet im Sonnensystem. Dieser Planet wurde am 23. September 1846 von dem deutschen Astronomen Johann Gottfried Galle entdeckt, nachdem seine Existenz von dem Franzosen Urbain J.J. Le Verrier vorausgesagt wurde, weil Unregelmäßigkeiten in der Bahn des Uranus' beobachtet hatte [35]. Neptun ist der einzige Planet im Sonnensystem, den man nicht mit dem bloßen Auge sehen kann und braucht etwa 165 Jahre für einen Umlauf um die Sonne [36]. Er ist ebenso wie der Uranus ein Eisriese, ist aber mit einem Durchmesser von 49 530 km ein wenig kleiner als der Uranus, ist



Abb. 33: Neptun, aufgenommen von der Voyager 2 mit grün und orange Filtern auf der Kamera.

aber dementsprechend ähnlich aufgebaut. Er besitzt einen Kern aus Silicium und Eisen, der etwa 20% der Gesamtmasse ausmacht und darum liegt eine Schicht Eis aus ionisiertem Wasser, Ammoniak und Methan, die 75% des gesamten Planeten einnimmt. Über dem Mantel liegt eine Gashülle aus Wasserstoff, Helium und Methan, welche die restlichen 15% des Planeten ausmacht und die Atmosphäre besteht aus 80% Wasserstoff, 18,5% Helium und etwa 1,5% Methan. Das Methan sorgt, trotz des geringen Anteils, wie auch beim Uranus für das blaue Aussehen des Planeten. Auf dem Neptun gibt es dünne weiße Wolkenbänder, die von starken Stürmen betroffen sind, denn es



Abb. 34: Neptun, eigene Fotografie vom 10. November 2021

herrschen sehr starke Winde. Dabei kann es zu Böen mit bis zu 2100 km/h kommen, was in etwa der Schallgeschwindigkeit auf dem Neptun gleicht. Das sind die schnellsten Winde, die es im Sonnensystem gibt. An den Stellen, an denen er dunkler erscheint, sind Sturmgebiete und sie liegen tiefer in der Atmosphäre (s. Abb. 33) [28][7]. Die Voyager 1 Raumsonde der NASA war bisher die einzige Raumsonde, die am Neptun vorbeiflog. Das war 1989, als sie auf dem Weg das Sonnensystem zu verlassen, sie hat einen sehr großen Sturm genauer aufnehmen können. Und auch Neptun besitzt ein Ringsystem, dass vermutlich aus wenigstens fünf Hauptringen und 4 weiteren Ringen besteht. Sie bestehen, wie auch die anderen Ringe aus Staub und Eis und sind vermutlich durch die Gravitation der umliegenden

Monde entstanden [36]. Außerdem ist auffällig, dass die durchschnittliche Temperatur der Wolken des Neptuns ähnlich ist, wie die der Wolken des Uranus, obwohl der Neptun weiter von der Sonne entfernt ist und deshalb weniger Wärme von ihr empfängt. Daraus wurde die Vermutung aufgestellt, dass die innere Wärme des Planeten aufsteigt und damit die Wolken erhitzt, wodurch sie wie auch unter den Wolken des Uranus -210°C warm werden [28].

# 3.4.2 Neptuns Monde

Der Neptun besitzt 14 bekannte Monde, die alle nach Göttern und weiteren Charakteren der griechischen Mythologie benannt sind. Der größte Mond Triton wurde schnell nach der Entdeckung des Neptun 1846 entdeckt, aber der zweitgrößte Mond Nereide etwa 100 Jahre später. Der Grund dafür ist, dass Nereide etwa achtmal kleiner ist als Triton. Die weiteren Monde wurden im Laufe der Jahre entdeckt und die Voyager 2 hat 2002/2003 bei ihrem Vorbeiflug noch sechs weitere Monde entdeckt [37][38].

### 1. Triton

Mit einer Masse von 214 · 10<sup>20</sup> kg wiegt er etwa 0.29 Erdmondmassen und dadurch besitzt er eine Dichte von 2.05 g/cm<sup>3</sup>. Er besitzt aktive Geysire, die regelmäßig Methan und Stickstoffeis ausspucken. Außerdem kreist Triton, als einziger der bekannten des Neptuns, rückläufig, Uhrzeigersinn um den Neptun, während alle anderen Monde in die entgegengesetzte Richtung laufen. Das liegt vermutlich daran, dass er ursprünglich nur ein Asteroid war, der von der Gravitation des Neptun aufgefangen festgehalten wurde, weswegen er jetzt um ihn kreist. [28][38][39]



Abb. 35: Triton, aufgenommen 1989 von der Voyager 2

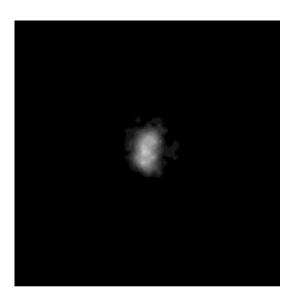


Abb. 36: Nereide, aufgenommen von der Voyager 2 im Vorbeiflug, am 24. August 1989 aus 4.7 Millionen km Entfernung

### 2. Nereide

Nereide ist der drittgrößte Mond des Neptun und besitzt einen Durchmesser von 340 km, was ihm mit einer Masse von 0.3 · 10<sup>20</sup> kg, also 0.29 Massen des Erdmonds, eine Dichte von 1.46 g/cm<sup>3</sup> gibt. Er wurde als zweiter Mond des Neptun entdeckt, nachdem man lange dachte, es gäbe nur einen Mond um den Neptun. Nereide besitzt eine hohe Exzentrizität in seiner Bahn um den Neptun, was seine Bahn sehr elliptisch macht. Also ist Nereide regelmäßig etwa 15mal weiter vom Neptun entfernt als Triton, aber teilweise auch sehr nah am Neptun, aufgrund dieser elliptischen Bahn. So schwankt Nereides Abstand zum Neptun zwischen 9.6 Millionen km und 1.4 Millionen km. Das macht Nereides Bahn zur Bahn mit der höchsten Exzentrizität aller Monde im Sonnensystem. Von Nereide existiert nur ein sehr unscharfes Bild, dass von der Voyager 2 aufgenommen wurde. Diese Unschärfe ist zustande gekommen, weil es eine Auflösung von 43 km pro Pixel hat (siehe Abb. 36) und ansonsten gibt es nur Darstellungen, wie er aussehen könnte. [38][39][40]

# 4. Neueste Entdeckungen und Ereignisse

# 4.1 Raumsondenmissionen

Nach der Entdeckung der Planeten und ständiger Beobachtung von der Erde aus, wollte die Menschheit weiter gehen und die Planeten und andere Himmelsköper von nahem betrachten. Das war lange nicht möglich, doch mit dem Fortschritt der Technik und dem Wissen, konnten Forscher anfangen Raumsonden und Raketen zu entwickeln, die über den Einflussbereich der Erde hinausfliegen konnten. Raumsonden sind die Verbindung zwischen der Menschheit und der Welt außerhalb der Erde, weil wir sie von nahem betrachten und untersuchen können [45].



Abb. 37: Die Pioneer 10 bei der Endmontage

Die erste Raumsonde, die auf den Weg zum Jupiter geschickt wurde, war die Pioneer 10 und sie wurde am 3. März 1972 gestartet. Ihre Mission war größtenteils durch den Asteroidengürtel zu kommen und den Jupiter zu untersuchen. Doch sie wurde verlängert und so kam es, dass sie nicht nur die erste Raumsonde war, die über den Mars, den Asteroidengürtel und Jupiter hinweg flog, sondern auch die erste, die hinter Neptuns Umlaufbahn flog. Die Pioneer flog bis an den Rand des Sonnensystems am Neptun vorbei und sendete ihr letztes Signal zur Erde am 23. Januar 2003. Damit war die Mission, die ursprünglich 21 Monate hätte dauern sollen, etwa 30 Jahre und 10 Monate lang [46].

Kurz nachdem die Pioneer 10 gestartet ist, startete auch die Mission der Pioneer 11, die am 6. April 1973 von der Erde ihre Riese begann und den Jupiter und Saturn untersuchen sollte. Sie war die erste Raumsonde, die den Saturn genauer untersuchen konnte und ist heute auf dem Weg das Sonnensystem zu verlassen [47].

Die nächsten zwei Raumsonden, die die Reise zu den äußeren Planeten angetreten haben, waren die Voyager 1 und 2. Diese hatten die Mission den Jupiter, den Saturn und einzelne ihrer Monde zu erkunden. Später wurde die Voyager 2-Mission erweitert auf Uranus und Neptun und bleibt bisher

auch die einzige Raumsonde, die diese äußeren Planeten von nahem betrachtete. Die Voyager 1-Mission wurde am 5. September und die Voyager 2-Mission am 20. August 1977 gestartet und im August 2012 schaffte die Voyager 1, als erste Raumsonde den Eintritt interstellaren Raum und damit raus aus dem Sonnensystem. November 2018 tat die Voyager 2 es ihr nach. Missionen haben Geheimnisse der Riesenplaneten aufgedeckt und auch viele neue und teilwiese unerwartete schaften entdeckt. Und nun sind sie auf der Mission die Grenzen unseres



Abb. 38: Künstlerische Darstellung einer Voyager-Sonde

Sonnensystems zu erkunden. Und die Voyager 2 hat für nahezu all das Wissen, was wir über Neptun und Uranus haben gesorgt [48][28].

Die beiden weiteren Raumsonde, die sich vor 2000 auf den Weg zu den Riesenplaneten gemacht haben, sind die Galileo-Sonde, die den Jupiter und seine Galileischen Monde erkunden sollte und die Cassini-Huygens-Sonde, die den Saturn erforschen sollte. Die Cassini-Huygens-Mission bestand aus zwei Missionen, die gekoppelt am 15. Oktober 1997 starteten und sich nach einem Vorbeiflug am Mond Titan trennten, damit die Huygens-Sonde auf dem Titan landen konnte und die Cassini-Sonde weiter den Saturn erkunden konnte. Sie entdeckte einen weiteren Saturnring und erforschte einzelne Monde des Saturns genauer. Am 15. September 2017 endete die Mission, indem die Sonde in die Saturnatmosphäre eintrat und verglühte.

Die Galileo Sonde startete ihre Reise zum Jupiter am 18. Oktober 1989 und erforschte die Galileischen Monde genauer. Sie entdeckte einen eventuellen Ozean unter Europas Oberfläche und sendete viele Aufnahmen und Daten an die



Abb. 39: Galileo Sonde, kurz vor Start der Mission

Forscher auf der Erde. Am Ende der Mission nahm die Sonde noch eine Probe von der Atmosphäre des Jupiters und sendete die Daten davon innerhalb einer Stunde zur Erde, bis sie von dem Druck der

Abb. 40: Künstlerische Darstellung der Juno-Sonde vor dem Jupiter

Atmosphäre zerstört wurde. Das war am 21. September 2003 [49][50].

neuerer Zeit wurden Raumsondenmissionen gestartet, die ihrer zurzeit noch mit Mission beschäftigt sind oder gerade erst gestartet sind. Eine davon ist die 2011 gestartete Mission der Raumsonde Juno. Sie flog am 5. August los und hat den Jupiter am 4. Juli 2014 erreicht, um ihn zu untersuchen und seine Entstehung und Eigenschaften des Planeten zu beleuchten. Zu diesen gehören zum Beispiel das Magnetische Feld des Jupiters, das Ammoniak in der unteren Atmosphäre und Polarlichter Südpols des Planeten [51].

Die zweite Sonde ist die Raumsonde Lucy. Ihre Mission bezieht sich auf die

Trojaner, also die Asteroiden, die sich auf der Bahn des Jupiters mit dem Jupiter bewegen. Die Mission startete am 16. Oktober 2021 und sie soll zwölf Jahre gehen. Sie wird die Trojaner untersuchen und

dann voraussichtlich vorübergehend im Oktober 2022 zurück zur Erde kommen, um ihre Umlaufbahn zu umfliegen und Schwung aufzubauen, um sie direkt hinter den Orbit des Mars´ zu bringen. 2024 wird sie noch einmal die Gravitation der Erde nutzen, um 2025 den Donaldjohanson Asteroid im Asteroidengürtel zu erreichen [52][53].

Es gibt noch weitere geplante Raumsondenmissionen, die bisher noch nicht gestartet sind und die äußeren Planeten erkunden sollen, wie die Dragonfly, die ab 2027 zum Titan fliegen soll; die Europa Clipper, die planmäßig Ende der 2020er bis Anfang der 2030er Jahre zum Mond Europa fliegen soll und die JUICE-Sonde, die sich planmäßig in dem Zeitraum zwischen dem 5. und dem 25. August 2023 auf den Weg zu den Eismonden des Jupiters machen soll [45].

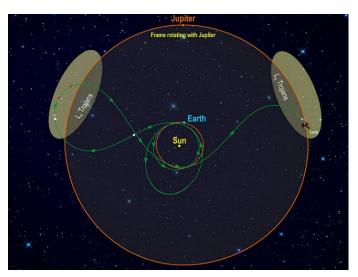


Abb. 41: Illustration von Lucys Strecke zu den Trojanern

# 4.2 Entdeckungen und Erkenntnisse

Durch die Raumsondenmissionen der NASA und des Jet Propulsion Laboratory (JPL), sowie durch Beobachtungen, Berechnungen und Bestätigungen von Hypothesen, bekommen wir immer wieder neue Erkenntnisse, die die Planeten näher beleuchten und Klarheit schaffen. Hier beleuchte ich ein paar neuere Entdeckungen, die die Riesenplaneten betreffen und das Wissen über sie erweitern, sowie auf andere Planeten schließen lassen.

# 4.2.1 Uranus rollt um die Sonne

Uranus ist auf seiner Umlaufbahn um die Sonne nicht wie anderen Planeten des Sonnensystems nur minimal gekippt, aber an sich mit ihrer Rotationsachse in derselben Stellung, wie die der Sonne, sondern seine Rotationsachse ist um etwa 98° gekippt. Deswegen ist es für uns so, als würden wir den

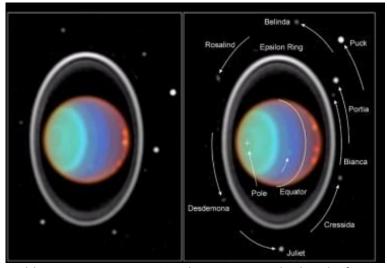


Abb. 42: Der Uranus mit acht seiner Monde, beschriftet, ebenfalls Äquator und Pol, sowie Epsilon Ring gekennzeichnet

Uranus "von oben" betrachten, so sehen wir auch seine Monde, die sich auf seiner Äquatorebene um ihn drehen, alle ebenfalls "von oben". Lange war diese Stellung ein Rätsel für die Astronomen und es gibt viele Theorien, doch zwei Forscher aus Japan haben im April 2020 eine Simulation entwickelt, die diese Achse des Uranus erklären kann. Dass die bisherigen Simulationen gescheitert sind, erklären die Forscher damit, dass bisher die Verdampfung des Wassereises, aus dem der Neptun zu großen Teilen besteht, nicht mit einberechnet wurde. Die Simulation macht einen Einschlag eines Körpers für die

Neigung des Uranus und seinen Monden verantwortlich. Die Idee ist, dass Uranus noch in seiner Entwicklungsphase war, als ein Objekt gegen ihn gestoßen sei und den ganzen Planeten geneigt habe. Laut der Expertengruppe und Shigeru Ida vom Institut für Technologie in Tokio sei es naheliegend, dass die Uranus-Monde aus den Trümmern dieser Kollision entstanden seien [54]. Die vorherigen Simulationen, haben immer den richtigen Neigungswinkel des Uranus als Ergebnis gehabt, jedoch um ihn herum eine Scheibe gebildet, die zu dicht und zu klein war, um daraus die Uranus-Monde entstehen zu lassen. Deswegen haben die Forscher aus Tokio das durch die Kollision verdampfte Wassereis mit einberechnet, denn dadurch konnte sich die entstehende Scheibe weiter ausdehnen und an Dichte verlieren. Das Ergebnis zeigte einen richtigen Winkel der Uranusachse und die Voraussetzungen auf der Scheibe, die sich wegen der Kollision gebildet hat, die für die Mondentstehung nötig wären [54][55].

### 4.2.2 Saturns Mond Titan

Saturns größter und ungewöhnlichster Mond wird viel beobachtet und bald von der zurzeit geplanten Raumsonde Dragonfly erkundet, weil er so außergewöhnlich ist. Er besitzt als einziger Mond eine erdähnliche Atmosphäre und ist der zweitgrößte Mond des Sonnensystems und sogar größer als der Merkur. Schon seit längerer Zeit wurde beobachtet, dass er mit jeder Umrundung des Saturn leicht näher an ihn hinan rückt. Also wird seine Umlaufbahn immer kleiner. Das ist für Monde eine relativ normale Eigenschaft, denn es gibt viele Monde, die es ähnlich tun. Das beste Beispiel dafür ist der

Erdmond, der sich langsam von der Erde entfernt und es damit gegenteilig macht, als Titan. Im Juni 2020 ist jedoch den forschenden Astronomen, bei der Auswertung der Daten der Raumsonde Cassini, aufgefallen, dass die bisher angenommene Näherungsrate Titans nicht beschreibt. die Rate Die wahre Näherungsrate des Titans ist hundertmal höher als bisher gedacht und beträgt damit etwa 11 cm pro Jahr, was deutlich schneller bisher angenommen ist. Beobachtung wurde durch Auswertung der aufgenommenen Bilder der Sonde Cassini gemacht, indem die Astronomen Sterne getrackt und dadurch die Entfernung Titans zum Saturn ausgerechnet haben. Um diese Erkenntnisse zu bestätigen, wurde die Strecke der Radiowellen der Cassini-Sonde bei einem Vorbeiflug an Titan von 2006 bis 2016 berechnet. Dabei ist entdeckt worden, dass die Sonde mit der Zeit immer näher am Saturn war, wenn sie nah am Titan vorbeiflog. Diese Erkenntnis bildet einen weiteren Schritt in Richtung zum

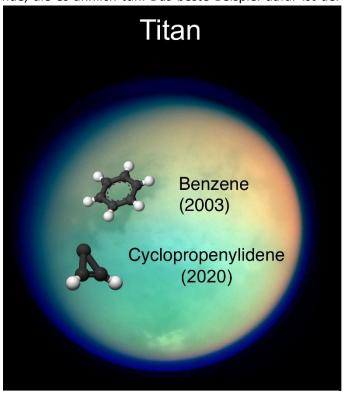


Abb. 43: Titan mit Darstellung seiner zwei entdeckten cyclischen Verbindungen

Verständnis der Entstehung des Sonnensystems und des Saturnsystems, sowie der Mondentstehung und -wanderung und können auch zu Klarheit über Exomonde und Exoplanetensysteme führen [56]. Eine weitere Entdeckung bezüglich Titan war, dass bei der Untersuchung der Atmosphäre Titans im Oktober 2020, ein Molekül gefunden wurde, was nicht in einer Atmosphäre erwartet wurde. Es handelt sich um C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, also Cyclopropenyliden, was zwar bereits in Gas- und Staubwolken zwischen Sternsystemen entdeckt wurde, aber kaum bzw. nicht im Sonnensystem entdeckt wurde. Das Molekül ist selten und deswegen recht unbekannt, aber man weiß, dass es in kalten Gebieten, die zu unförmig und kalt sind, um viele chemische Prozesse herbeizuführen, vorkommt. Deswegen war es so

unerwartet diesen Stoff in einer Atmosphäre zu finden. Cyclopropenyliden ist in den höheren Schichten der Atmosphäre Titans vertreten und dort sind weniger Stoffe, mit denen der Stoff reagieren kann. Insgesamt wird die Atmosphäre der Erde vor mehreren Milliarden Jahren so vermutet, wie die Atmosphäre Titans heute ist, also aus größtenteils Stickstoff mit Methan. Das Methan löst sich aufgrund der Sonneneinstrahlung auf und daraus entsteht den Theorien nach das Cyclopropenyliden. Diese Ähnlichkeiten der Atmosphäre zur Erde sind für die Astronomen ein Anlass die Entstehung Lebens auf Titan zu vermuten, denn die Stoffe in er oberen Atmosphäre könnten die Stoffe sein, die zur Grundlage des Lebens auf der Erde geführt haben. Ein Punkt, der dafür spricht, ist dass Cyclopropenyliden ein Cyclisches Molekül ist, also seine Atome einen Ring bilden und eine cyclische Verbindungen die Nuklearbasis unserer DNA ist. Zudem ist Titan auch was Flüsse und weitere Gewässer angeht der Erde ähnlich. Laut den Forschern ist dieses Erkenntnis ein wichtiges Puzzelteil zum Verständnis des ganzen Mondes und seinen Chancen auf Leben. Bald ist die Raumsonde Dragonfly auf dem Weg zum Titan und wird den Mond in der Hoffnung auf mehr Klarheit genauer untersuchen und die Astronomen werden ihn auch weiterhin von der Erde aus beobachten [57].

# 4.2.3 Die obere Atmosphäre des Saturns



Abb. 44: Saturns Polarlichter des Südpols in einem Falsch-Farb-Bild aufgenommen von Cassini mit seinem Ultraviolet-Imaging-Spectrograph (UVIS) am 21. Juni 2005

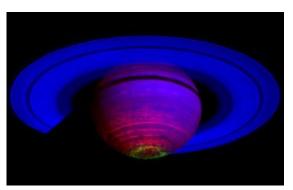


Abb. 45: Saturn in Infrarot aufgenommenes Bild von der Cassini-Sonde, die Polarlichter in grün

Bis April 2020 war die Temperatur der oberen Schichten der Gasplaneten ein Rätsel für die Astronomen, denn diese sind entgegen der Erwartungen sehr warm im Vergleich zum Rest der Atmosphäre. Denn durch die Entfernung von der Sonne müsste die Atmosphäre eigentlich kälter sein, auch weil von der Wärme des Planeten wenig in die Atmosphäre gelangt. Als die Cassini-Raumsonde 2017 ihre letzten Runden um den Saturn drehte, was man damals Grand Finale genannt hat, hat sie 6 Wochen lang bei immer stärkerer Annäherung an den Planeten Sterne im Canis Major und Orion beobachtet. Als Cassini in die Atmosphäre eintrat konnte man erkennen, wie sich die Helligkeit der Sterne auf den Bildern verändert hat, wodurch man die Temperatur der Atmosphärenschichten berechnen konnte. Als man diese Temperaturen betrachtet hatte, ist aufgefallen, dass die Temperatur an den Polen ansteigt und von dort abnimmt. Von diesen Beobachtungen konnten die Forscher auf eine Quelle der Wärme in der Atmosphäre an den Polen des Planeten schließen und bei weiterer Forschung wurde auf die Polarlichter als Schuldigen geschlossen. Bei den Polarlichtern (oder auch Auroras) handelt es sich um Lichter an den Polen eines Planeten,

> die (zumindest bei der Erde) durch Sonnenwinde entstehen, indem die geladenen Teilchen in die Atmosphäre des Planeten gelangen und mit den Molekülen der Atmosphäre reagieren. verursacht die Lichter und die Temperatur in der Atmosphäre. Diese Lichter kann man auch auf den Abbildungen 44 und 45 erkennen. Die Wärme dieser Reaktion wird dann durch die starken Winde in der Atmosphäre über die ganze obere Schicht geweht und somit wärmt sich die obere Atmosphäre auf. Aus dieser Erkenntnis konnte man viele Dinge über die Atmosphäre des Planeten herausfinden und erklären, die vorher unerklärbar gewesen waren. Außerdem lassen sich Eigenschaften der Hitzezirkulation und des Windsystems, sowie des Weltraumwetters,

durch die Daten erläutern und diese auf die anderen Planeten und Exoplaneten anwenden [58].

# 4.3 Neuere Ereignisse

# 4.3.1 Polarlichter des Jupiter erklärt

Erstmals wurden die Polarlichter des Jupiters 1994 von Forschern mit Hilfe des Hubble-Teleskops entdeckt, seitdem wurden sie immer wieder beobachtet und aufgenommen. Nun ist die Raumsonde Juno am Jupiter und nimmt dieses Phänomen von nahem auf. Junos Daten zeigen die Lichter (oder wie die NASA es nennt Light Shows) in der Nacht Jupiters, in der sie entstehen und wie sie sich mit dem Jupiter in den Tag hineindrehen, dort werden sie dann von der Sonne beschienen und dementsprechend umso heller. Die Polarlichter Jupiters sind die stärksten der Planeten im

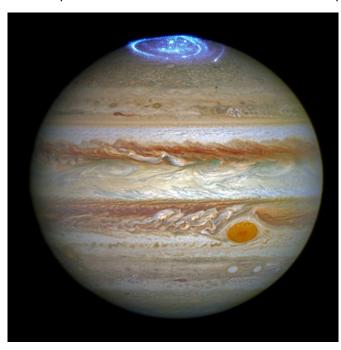


Abb. 46: Jupiters Polarlichter, aufgenommen mit dem Imaging Spectrograph far-ultraviolet-light (die Scheibe Jupiters wurde einzeln aufgenommen und eingefügt)

Sonnensystem und wenn sie scheinen, schleudern sie hunderte Gigawatt an Energie, in Form von ultravioletten Licht in die Umgebung Jupiters. Sie sind denen der Erde sehr ähnlich, aber weil der Jupiter ein sehr starkes Magnetfeld besitzt, sind seine Polarlichter deutlich stärker und größer. Entstehen können sie durch geladene Teilchen, die von der Sonne, in Form von Sonnenwinden, oder anderen Körpern in das Magnetfeld des Planeten geleitet werden und dort dem Magnetfeld folgen und mit Molekülen in der Atmosphäre zusammenstoßen und reagieren, was so viel Wärme erzeugt, dass sie leuchten. Ein weiterer Unterschied zu den Polarlichtern der Erde besteht darin, dass der Jupiter unterschiedliche Polarlichtern an seinen zwei Polen aufweist, da an den beiden Polen der Erde sich die Lichter nur spiegeln und sehr ähnlich sind.

Durch die Entdeckung Junos, dass diese Lichter nachts bereits entstehen, sind weitere Fragen zu diesen aufgekommen und

es mussten neue Theorien entwickelt werden. Die jetzige Lehrmeinung geht davon aus, dass die Teilchen, die die Lichter entstehen lassen, vom Mond Io in die Atmosphäre geraten. Der Mond ist sehr vulkanisch und speit viel Schwefel und Sauerstoff, die in den Lichtern des Jupiters wieder erkannt werden. [60][61][62] Durch die Beobachtung zeigt sich, dass die Teilchen in der Atmosphäre pulsieren, was auf ein pulsierendes Magnetfeld hindeutet. Daran wurde weiterhin geforscht und im Juli 2021 hat ein Team von Forscher eine Simulation dieser Pulsation erstellt, die beweisen kann, dass die Pulsation mit dem Pulsieren des Magnetfelds zusammenhängt. Das haben sie durch die Raumsonde Juno und gleichzeitiger Beobachtung durch die Erdumrundende Mission XMM-Newton, beweisen können. Durch diese Beobachtungen konnten sie die Pulsation genauer beobachten und feststellen, dass das Magnetfeld des Jupiters von Partikeln des Sonnenwindes zusammengedrückt wird. Das führt dazu, dass sich die Ionen erhitzen. Dadurch werden die Ionen durch das Magnetfeld geleitet, was dafür sorgt, dass sie mit den Molekülen in der Atmosphäre zusammenstoßen und deshalb leuchten. Dieses Phänomen nennt man "electromagnetic ion cyclotron waves" oder kurz EMIC-Waves. Laut dem Forscher William Dunn, vom Mullard Space Science Laboratory vom University College London, erkennt man sehr gut die Reihenfolge der Geschehnisse, da man zuerst die Kompression, also das Zusammendrücken der Ionen, beobachten kann, woraufhin die EMIC-Welle ausgelöst wird, dann kann die Juno-Sonde die Welle von Ionen beobachten. Ein wenig später beobachtet dann die XMM-Newton die Polarlichter in Röntgen aufnahmen. [63]

# 4.3.2 Die unerwartete Temperatur-Veränderung Neptuns

Ein internationales Team von 13 Forschern hat 2006 mit dem Very Large Telescope der ESO angefangen, Neptun zu beobachten und hat in den letzten Jahren ein paar außergewöhnliche Entdeckungen gemacht. Da seit 2005 auf der südlichen Halbkugel des Neptun Sommerzeit ist und der Frühling angefangen hat, wurde eigentlich ein Temperaturanstieg erwartet. Das Neptunjahr ist etwa 165 Erdjahre lang und deswegen ist eine Jahreszeit etwa 40 Jahre lang und die Daten decken nur sehr wenig

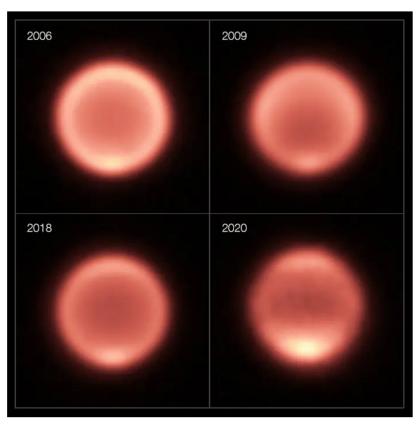


Abb. 47: Neptun in Wärmebildaufnahmen 2006, 2009, 2018 und 2020.

dieser Zeit ab, weswegen auch davon ausgegangen wurde, dass man keine starken Änderungen der Temperatur in so kurzer Zeit beobachten würde. Dazu sagt Glenn Orton, der leitende Forscher am JPL des Caltech in den USA: "Unsere Daten decken weniger als die Hälfte einer Jahreszeit des Neptuns ab, sodass niemand erwartet hatte, große und schnelle Veränderung zu sehen." [65].

Doch als die Forscher die 100 Infrarotaufnahmen aus 17 Jahren auswerteten, hat sich gezeigt, dass die Durchschnittstemperatur Neptuns in den Jahren von 2003 bis 2018, also in nur 15 Jahren, um etwa 8°C gesunken ist. Diese Temperaturschwankungen lassen sich bisher noch nicht erklären, besonders weil sie so unerwartet auftraten, aber es gibt verschiedene Theorien, die das Phänomen aufklären könnten. Eine Idee ist, dass durch die Veränderung der Stratosphären-Chemie diese Veränderungen verursacht werden. Aber laut den Forschern, ist es ebenfalls nicht auszuschließen, dass sie an einfachen zufälligen Wetterveränderungen oder am Sonnenzyklus liegen können. Das Very Large Telescope (VLT) wird die Veränderungen der Temperaturen daher weiterhin beobachten und das James Webb Space Telescope soll neue Karten der Chemie und Temperatur der Neptunatmosphäre entwickeln, damit die Veränderung bald erklärbar ist.

Während der Beobachtung der Temperaturabnahme des größten Teils Neptuns wurden weitere Veränderungen beobachtet. Denn während die Temperatur allgemein gesunken ist, hat sich die des Südpols sehr schnell stark erwärmt. Die Aufzeichnungen von 2018 bis 2020 zeigen, dass sich der Südpol um 11°C erwärmt hat. Das hat die Forscher stark überrascht, denn so starke Temperaturschwankungen wurden bei Neptun noch nie beobachtet. Anfangs wurde vermutet, dass man diese Erwärmung mit den warmen Winden des Südpols erklären könnte, doch so eine starke Veränderung können diese nicht erklären.

Die weitere Entdeckung des Neptun und dieser geheimnisvollen Temperaturschwankungen wird die Forscher und Astronomen, aus diesem Gebiet weiterhin beschäftigen und vielleicht haben wir in einigen Jahren Klarheit über das Geheimnis des letzten Planeten des Sonnensystems [64][65].

# 4.3.3 Wanderte Jupiter durch das Sonnensystem?

Das Sonnensystem ist vor mehr als 4,5 Milliarden Jahren entstanden und es gibt viele verschiedene Theorien wie aus der Sternwolke, aus der unsere Sonne entstand, Planeten entstehen konnten. Dabei gab es schon früh viele Theorien, die zwar teilweise wertvolle Teile der heutigen Lehrmeinung beinhalten, aber dennoch auch falsche Umstände annahmen. Zu solchen gehören die Nebular-Hypothese oder auch Laplace-Kant-Theorie von 1796, die von der Gaswolke um einen frisch entstandenen Stern ausgehen, die sich in Ringe formt. Die Gaswolke, dreht sich um sich selbst und formt sich dann aufgrund von Abkühlung des Protosterns, der im Zentrum steht und wegen des Drehimpulses beschleunigt sich die Drehung mehr und wird dann durch Wirken der Zentripetalkräfte linsenförmig bzw. zu einer Art Scheibe, dabei verdichtet sich die Materie. In dieser Form wirkten laut Kant und Laplace weiterhin starke Zentripetalkräfte, die in den äußeren Regionen so stark werden, dass sich von ihr ein Ring abtrennt, aus der Scheibe die Planeten, an genau der Position, an der diese Ringe waren, entstehen konnten. Diese Ringe entstanden nach der Theorie durch Zusammenkleben der einzelnen Teilchen in diesen Ringen dadurch, dass ein Teilchen größer war als die anderen und dadurch mehr Gravitation ausgeübt hat, was dazu geführt hat, dass es andere Teilchen angezogen hat und mit ihnen kollidiert ist. Da dies eine logische Erklärung war, war sie für etwa 100 Jahre allgemeine Lehrmeinung. [66][67]

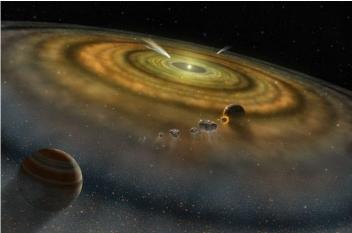


Abb. 48: Künstlerische Darstellung der protoplanetaren Scheibe des Sonnensystems und Planetenvorläufern

Diese Theorie ist recht nah an der heutigen Lehrmeinung, auch wenn es keine explizite gibt, sondern viel mehr Theorien, die ähnliche Grundannahmen haben, aber die sich teilweise widersprechen. Denn Kants und Laplaces Theorie geht ebenfalls von einer protoplanetarischen Scheibe aus, die um einen frisch entstandenen Protostern liegt. Außerdem ist in der heutigen Lehrmeinung die grobe sehr ähnlich. Entstehung Jedoch herrscht in einer Gaswolke um einen jungen Stern keine Zentripetalkraft und das sich Ringe auf diese Art abspalten, die sich zu einem Planeten entwickeln, ist genau so unwahrscheinlich.

Heutzutage geht man davon aus, dass besagte Gasscheibe um einen jungen Stern schnell rotiert, darin größere und kleinere Staubteile, die mit der Zeit zusammenstoßen und sich teilweise verbinden. Diese Verbindungen häufen sich an und werden immer größer, bis sie so groß werden, dass sie mehr Anziehungskraft besitzen als die Staubteile um sie herum. Dadurch ziehen die größeren die kleineren Teilchen an und so wird das größere Teilchen immer größer, bis es zu einem Planeten wird. Mit einem Kern, einer Hülle und mehreren Schichten, die sich aus den angezogenen Teilchen im Planeten anordnen [66].

Bis vor kurzem war noch unklar, ob diese Theorie stimmen konnte, da Teilchen mit höchstens einem Millimeter Größe und minimalen Größenunterschied sich, wenn sie aufeinander prallen, voneinander abstoßen müssten, dieses Phänomen nennt man Kollisionsbarriere. Forscher haben nun durch Experimente herausgefunden, dass diese Teilchen sich elektrisch aufladen und dadurch aneinanderhaften könnten. In der Forschung der Planetenentstehung ist nahezu unbestritten, dass die Teilchen höchstens einen Millimeter groß werden können und wenn diese sich nur abstoßen, können keine Planeten daraus entstehen und die Protoplanetarische Scheibe bleibt eine solche. Daher wurde diese neue Theorie entwickelt. Um diese zu beweisen, gab es verschiedene Experimente. Eines davon war die Nachstellung der Scheibe mit Glaskugeln, die ebenfalls höchstens millimetergroß waren und gegeneinandergestoßen wurden. Dabei haben sich diese aufgeladen und angefangen aneinander zu haften, was beweisen soll, dass elektrische Ladung die Kollisionsbarriere überwinden kann [68].

Diese Erkenntnis wurde auf die Probe gestellt, als 2019 Studenten einen Wettbewerb gewannen und ein Experiment auf der ISS der NASA durchführen lassen durften. Dieses Experiment sollte das Verhalten der Glaskugeln in Schwerelosigkeit herausfinden. Es gibt aber trotz vieler Experimente keine Klarheit über die Entstehung der Planeten und das Haften der Teilchen aneinander und deshalb wird weiterhin daran geforscht und auch Langzeitexperimente geführt, bis die Entstehung kein solches Rätsel mehr ist [69].

Als die Planeten dann entstanden waren, auf welche Weise auch immer, entstanden zuerst Planetesimale, die etwa 10 bis 100 km große Planetenvorläufer sind und die Grundlage der Planeten darstellten. Aus diesen entstanden dann die Terrestrials, also die erdähnlichen Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars. Dabei wurde sich schon länger die Frage gestellt, warum die erdähnlichen Planeten, mit einer harten Hülle, die Planeten, die am nächsten an der Sonne sind, sind. Dabei gab es lange Theorien, dass diese Planeten näher an der Sonne entstehen und Gasplaneten weiter entfernt, aufgrund ihrer Aggregationszustände. Also ist die Idee, dass die Planeten wegen ihrer Eigenschaften so nah an der Sonne entstanden seien. Bei Beobachtung anderer Sternsysteme erkannte man jedoch, dass sich die Anordnung



Abb. 49: Künstlerische Darstellung des Jupiter und der beiden Trojaner-Gruppen auf ihrer hervorgehobenen Bahn

nicht immer so verhielt und das Sonnensystem schon nahezu ein Ausnahmefall war.

Das war lange ein Rätsel, dann wurden Theorien aufgestellt, die davon ausgehen, dass Jupiter nach seiner Entstehung eine Wanderung durch das Sonnensystem hinter sich hat. Es wurden Simulationen gemacht und dadurch kann man annehmen, dass Jupiter bis zu viermal weiter von der Sonne entfernt

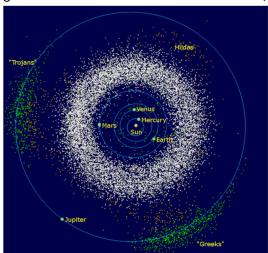


Abb. 50: Darstellung des inneren Sonnensystems mit dem Asteroidengürtel, den Trojanern und der Bahn des Jupiters

entstanden ist, als er heute ist. Dann fing er an, schon in kleiner Form, nur etwa 2 bis 3 Millionen Jahre nach seiner Bildung, als ein Kern ins innere Sonnensystem zu reisen. Durch diese Wanderung wurde die Entstehung der Erde und des Mars' stark beeinflusst, denn ihnen wurde quasi das Material von Jupiter geklaut. Außerdem hat er die Umlaufbahn der Erde nahezu gereinigt, was viele Einschläge mit Körpern verhindert hat und sie (wie auch den Mars) davon abhielt weiter zu wachsen. Wann und wo er gewandert ist bis heute noch unklar, aber durch verschiedene Simulationen, versucht man herauszufinden, wie er das innere Sonnensystem beeinflusst hat. Was sehr sicher ist, ist dass er bei der Reise durch das innere Sonnensystem Objekte mit sich zog. Diese sind heute zum Teil seine Trojaner und zum Teil im Asteroidengürtel. Die Trojaner sind ein Beweis für diese Theorie, denn die Wanderung und das Mitziehen des Jupiters der Trojaner würden die Asymmetrie der Trojaner erklären. Jupiters Trojaner

drehen sich mit 60° Entfernung vor und hinter dem Jupiter auf seiner Bahn mit ihm, die vordere Reihe ist deutlich umfangreicher, also ca. 50% mehr als in der hinteren Gruppe. Diese Asymmetrie war lange nicht erklärt, doch mit den Simulationen lässt sich dieses Phänomen erklären. Denn die Trojaner wurden nicht gleich von der Wanderung nach innen und wieder zurück beeinflusst und haben sich dadurch anders angeordnet. Zudem hat die Schwerkraft Jupiters die Trojanergruppe vor ihm in ihrer

Bahn stabilisiert und die Bahn der Gruppe hinter ihm verkürzt, bis sie 60° hinter ihm in der Bahn blieben und mit ihm die Sonne umlaufen. Die Trojaner können uns viele Informationen über die Riesenplaneten geben, da sie aus der Entstehungszeit dieser kommen und Stoffe, die zum Beispiel im Kern der Planeten sind, beinhalten und selbst teilweise dort entstanden sind. Außerdem erklärt die Wanderung des Jupiters auch warum der Asteroidengürtel andere Inhaltsstoffe hat, als der Kuiper-Gürtel, weil die Asteroiden aus diesem aus anderen Regionen des frühen Sonnensystems stammten, denn der Kuiper-Gürtel wurde vom Saturn und seiner Wanderung durch das Sonnensystem in seine Bahn gebracht. Der Saturn war auch der Grund, warum der Jupiter zurück in seine heutige Bahn kam und nicht im vorderen Sonnensystem geblieben ist, denn der Jupiter und der Saturn halten sich durch Wechselwirkungen gegenseitig in ihren Bahnen.

Diese teilweise neuen Erkenntnisse helfen der Forschung beim weiteren Verständnis der Entstehung des Sonnensystems und auch allgemein anderen Exoplanetensystemen. Und im Oktober 2021 wurde die Raumsonde Lucy auf die Reise zu den Trojanern geschickt, um sie näher zu erforschen und das Wissen, was wir aus ihnen ziehen können, zu bekommen. [70][71][72]

# 5. Bedeutung für die Erde

Die Planeten im Sonnensystem beeinflussen die Erde sehr stark, denn ohne sie wäre die Erde vermutlich nicht unser Planet, wie wir ihn heute kennen. Allein Jupiters Wanderung in der frühen Entstehung des Sonnensystems hat den Weg zu unserer Welt, wie wir sie heute kennen, stark beeinflusst. Jupiter hält auch bis heute Asteroiden, wie die im Asteroidengürtel, von der Erde fern bzw. fest in ihrer Bahn und fängt Körper, die ihren Weg durch das Sonnensystem bestreiten auf, die ohne ihn in die Erde geflogen wären. Aber nicht nur Meteoritenschutz bilden die Gasriesen, oder in diesen Beispielen besonders Jupiter, sondern sie bieten auch Wissen und Möglichkeiten. Zum Beispiel bieten sie Wissen über die Erde, also über die Entstehung und die weitere Lebenszeit der Erde, sowie über Exoplaneten, die einen eventuellen Platz zum Leben darstellen. Außerdem zeigen sich durch Wissen über Exoplaneten einige Möglichkeiten für eventuelles Leben. Denn das ist bisher noch nicht ausgeschlossen, also kann es sein, dass bald auf einem anderen Planeten neues Leben gefunden wird. Ein weiterer Nutzen der Planeten könnte ein Rohstoffmangel auf der Erde sein, der durch andere Planeten wiederzurückgehen könnte. Wenn man also weiß, welche Stoffe auf den einzelnen Planeten existieren und wie man sie nutzen kann, könnte man sie von den Planeten abbauen. Das ist zwar absolut nicht nachhaltig, aber eine Lösung für die aufkommenden Probleme der Menschheit.

Und zu guter Letzt ist natürlich die Neugier ein wichtiger Teil der Menschen und die Planeten relativ zu Sternen und anderen Galaxien sehr nah an uns können uns Wissen über andere Planeten und sich selbst geben, die die Neugier stillen können.

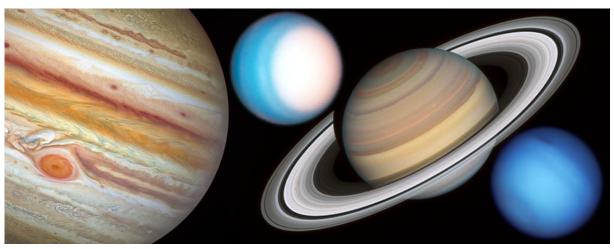


Abb. 51: Fotomontage der Riesenplaneten im Sonnensystem

# 6. Astrofotografie

# 6.1 Equipment

# 6.1.1 Teleskop

Da ich meine Aufnahmen in der Sternwarte auf unserer Schulsternwarte machen konnte und es mir möglich war die Station 7 zu nutzen, habe ich das Teleskop der Station 7 benutzt, welches ein 0.51m-Teleskop Planewave CDK20 ist. Das Teleskop ist im Gegensatz zu den Station 1-6 immer aufgebaut, weswegen ich es nicht aufbauen musste. Das Teleskop konnte ich vom Kontrollraum der Sternwarte aus steuern, was es recht leicht gemacht hat.



Abb. 52: Das 0,51m-Teleskop Planewave CDK20 der Station 7 bei Tag

# 6.1.2 Kamera und ihre Filter

Für alle meiner Aufnahmen habe ich die ZWO ASI183MC Pro Farbkamera benutzt. Diese ist eine Kamera für die Astrofotografie, die sich selbst kühlt. Hier sind einige Daten zu ihr aufgelistet:

Sensor	1" CMOS IMX183CLK-J/CQJ-J
Auflösung	20,18 Megapixel, 5496*3672
Pixelgröße	2,4 μm
Sensorgröße	15,9 mm (Diagonale)
Belichtungszeit	32 μs bis 2000s
Full well	15 ke-
Maximale Quanteneffizienz	ca. 84 %
DDRIII Buffer	256 MB
Bitrate	12 bit Output (12-Bit-ADC)
Gewicht	410 Gramm
Größe	78 mm Durchmesser
	86 mm Länge
[73]	



Abb. 53: Die Kamera ZWO ASI183MC Pro



Abb. 54: Kamera mit dem Filterrad und dem Verbindungskabel

Für die Saturnaufnahmen habe ich zwei verschiedene Filter genutzt, wodurch ich eine Infrarotversion und eine Farbversion hatte, die ich später zu einem Bild zusammengefügt habe.

Vom Uranus hatte ich ebenfalls zwei verschiedene Aufnahmen, die sich durch ihre Belichtungszeit unterscheiden, weil ich für die eine Version der Aufnahmen eine höhere Belichtungszeit genutzt habe, um die Monde um den herum Uranus aufnehmen zu können. Die zweite Version ist mit weniger Belichtungszeit aufgenommen, um den Uranus nicht zu hell darzustellen und in Echtfarben zu zeigen. Später habe ich die beiden Bilder aufeinander gefügt.

An der Kamera ist ein Filterrad befestigt, das zwischen verschiedenen Filtern wechseln kann. Die Filter, die das Filterrad beinhaltet sind ein UV-IR Cut-Filter, ein H $\alpha$ -Filter, ein Dark-Filter und drei Infrarot (IR)-Filter, mit den Namen IR685, IR807 und IR850. Die Filterliste ist auf der Kamera abgedruckt und auf der Abbildung 55 ist diese mit der Kamera dargestellt. Ich habe den Filter UVIR Cut RGB für alle meine Aufnahmen benutzt, für den Jupiter auch den IR850- und den IR807-Filter und für den Saturn dazu den RG685 und den IR805-Filter benutzt. Die Filter konnte man am Computer in der Sternwarte einstellen.



Abb. 55: Die Kamera mit Abbildung der Liste der Filter



Abb. 56: Ich am Computer der Sternwarte unserer Schule

# 6.2 Planung, Aufbau und Durchführung am Beispiel des Planeten Uranus

Die Planung für die Aufnahmen hat bei jedem der Planeten auf Stellarium begonnen, denn dort konnte ich entdecken, wann ich die Planeten beobachten könnte bzw. wann sie wo aufnehmbar waren. Da ich dies im Winter bzw Ende des Sommers getan habe, war es recht leicht einen Tag zu finden, an dem man Uranus aufnehmen konnte. Am selben Tag, also dem 10. November 2021, habe ich auch die Neptunaufnahmen gemacht. Die Saturn- und Jupiteraufnahmen sind dagegen am 22. September 2021 entstanden.

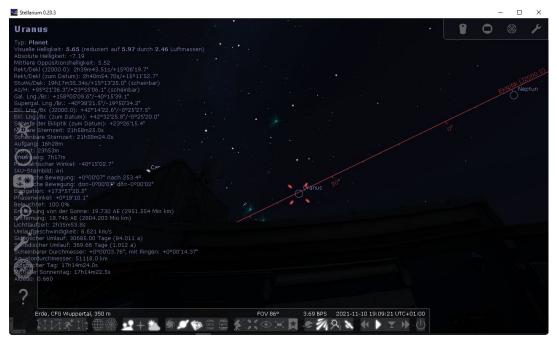


Abb. 57: Stellarium am 10. November 2021, eingestellt auf Station 7, Uranus um 19:09

Dann hat der Aufbau begonnen, bei dem ich die Kamera an das Teleskop angebracht habe. Für die Aufnahmen habe ich die im vorherigen Schritt beschriebene Kamera ZWO ASI183MC Pro benutzt. Auf Abb. 58 und 59 ist nachgestellt, wie ich die Kamera am Teleskop befestige und vor dem Teleskop stehe.





Abb. 58 & 59: Ich beim nachgestellten Aufbau, also Anbringen, der Kamera an das Teleskop und mit der Kamera vor dem Teleskop

Dann hat die Aufnahme begonnen und dafür habe ich erstmal das Objekt, welches ich zuerst aufnehmen wollte, was am 22. September der Jupiter und danach der Saturn und am 10. November zuerst der Neptun war und daraufhin der Uranus. Dafür habe ich Stellarium benutzt, um den Planeten

The control of the co

auszuwählen und dann das Teleskop dorthin zu schwenken. Auf der Abbildung 60 kann man den Uranus in Stellarium erkennen, mit dem braunen Kreis, der die Blickrichtung des Teleskops darstellt und der zu diesem Zeitpunkt auf dem Weg zum Uranus ist. Durch das Auswählen des Objekts ist das Teleskop auch automatisch mit der Erdrotation mitgeschwänkt, um den Uranus die Aufnahmezeit über im Blick zu behalten.

Abb. 60: Stellarium mit Fokus auf den Uranus und der Bewegung des Teleskops

Nachdem das Teleskop auf das Objekt fixiert war, konnten die Aufnahmen aufgenommen werden. Das habe ich mit FireCapture gemacht. Im Screenshot unten (Abbildung 62) kann man diese Anwendung erkennen, die den Uranus mit ein paar seiner nahen Monde aufnimmt und im rechten Teil des Bildes ist die manuelle Steuerung für das Teleskop.

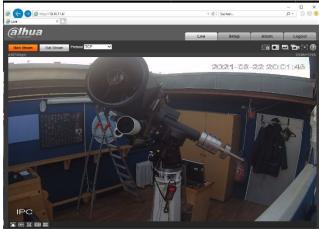


Abb. 61: Kameraaufnahme des Teleskops bei der Aufnahme des Saturns

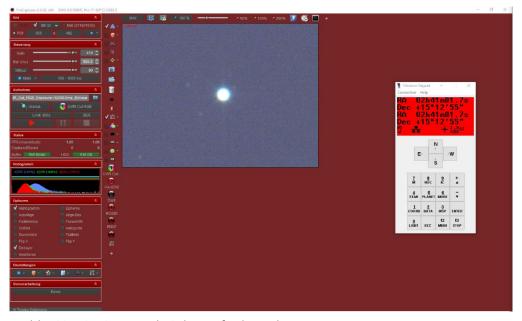


Abb. 62: FireCapture bei der Aufnahme des Neptuns

# 7. Bearbeitung am Beispiel des Planeten Uranus

# 7.1 Vorbearbeitung der Videos

Die Bearbeitung des Uranusbildes hat damit begonnen, dass ich die aufgenommenen Videos bereits in der Foto-App des Systems vorbearbeitet habe. Dabei habe ich die Farben der Videos verschoben, da die unterschiedliche Brechung des Lichts in der Atmosphäre dafür sorgt, dass Teile der Farben neben ihrem eigenen Platz an der Planetenscheibe waren. Die blaue Scheibe des Uranus´ war, wegen der Brechung des blauen Lichts leicht über der eigentlichen Scheibe des Planeten, was zu einem Rand um den Planeten geführt hat. Die grüne Farbscheibe des Videos lag leicht unter der ursprünglichen Scheibe. Also habe ich diese Farbschichten aufeinandergelegt und damit die atmosphärisch bedingten Fehler behoben.

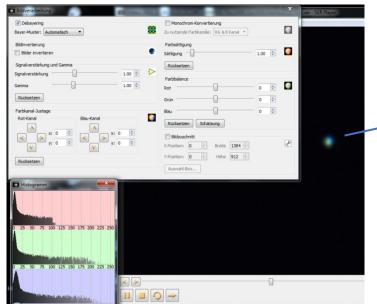
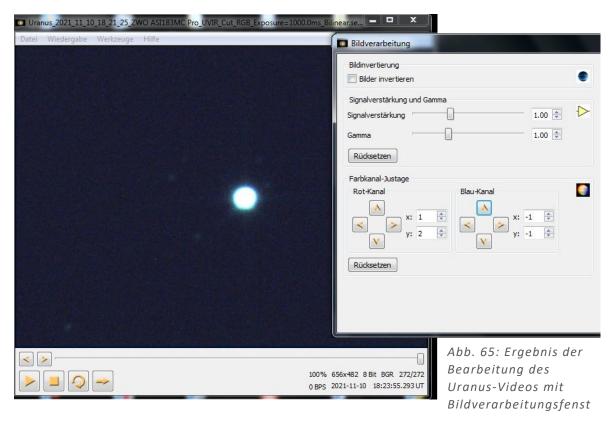




Abb. 63: Video des Uranus vor der Bearbeitung mit Histogramm und Bildbearbeitungsfenster, links: vergrößerte Darstellung des Planeten



Dasselbe habe ich mit dem länger belichteten Teil der Uranusaufnahmen gemacht. Bei den vorherigen habe ich den blauen Kanal um 4 Einheiten nach links und 4 Einheiten nach unten verschoben, während ich den roten Kanal um 4 nach und rechts, sowie 4 nach oben verschoben habe. Bei den zweiten Aufnahmen habe ich den blauen Kanal um 1 Einheit nach links und 1 Einheit nach unten und den roten um 1 Einheit nach rechts und 2 Einheiten nach oben verschoben.



# 7.2 Stacken

Daraufhin hat die Bearbeitung, wie ich es auch mit den anderen Videos der anderen Planeten gemacht habe, angefangen, indem ich diese gestackt habe. Das habe ich mit dem Programm Autostakkert gemacht. Da es zwei verschiedene Aufnahmen des Uranus gab, habe ich mit den Aufnahmen, auf denen man die Monde nicht erkennt, also den kürzer belichteten, begonnen.

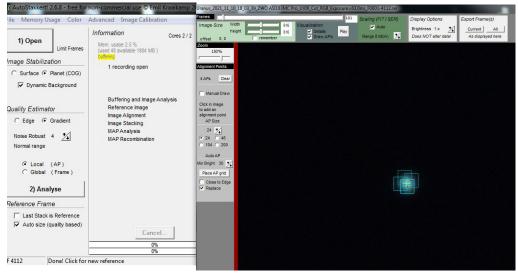


Abb. 66: Links: Einstellungen der ersten beiden Schritte des Stacken; rechts: ein Bild der Videos des Uranus

Der erste Schritt war die aufgenommenen Videos auszuwählen und von Autostakkert analysieren zu lassen. Dabei werden die Videos nach Qualität, also Helligkeit und Schärfe sortiert, so dass die Bilder, die besonders scharf sind, vorne und die mit weniger Qualität hintenanstehen. Die Qualität wird dann in einem Graph beschrieben, an dem man einstellen kann, wie viele der Bilder benutzt werden sollen. Auf diesem Bild kann man den Graph erkennen, der die Bilder nach Qualität sortiert darstellt. Ich habe den grünen Strich in der Mitte in die Mitte gestellt, damit das Programm beim Stacken, die besten 50% der Bilder aus den Videos benutzt.

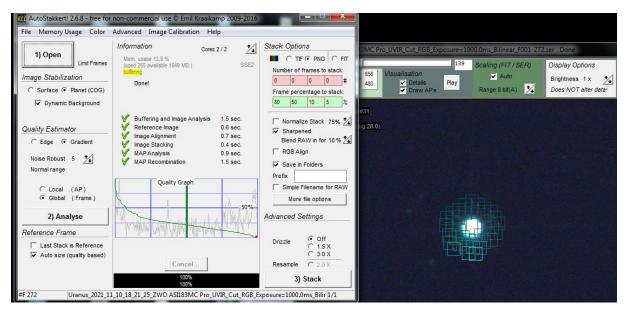


Abb. 67: Screenshot Autostakkert: Schritt 2 (Analyse) Einstellungen, Graph und Uranus

Das Programm erstellt dann mit Schritt 3, dem Stacken, Bilder aus den Videos. Es macht mehrere Bilder, die aus den besten 80%, 50%, 10% und 5% der Videos bestehen, was ich in der grünen Tabelle "Frame percentage to stack" eingestellt habe. Außerdem erstellt es von jedem Bild eine eigen geschärfte Version. Das Stacken funktioniert, so dass die besten Bereiche der Videos, die schärfsten zu erkennen sind, zusammen in ein Bild gestellt werden. Dadurch entsteht Bild aus mehreren Teilen verschiedenen Bildern und ist damit eine Art Mosaik aus den besten Aufnahmen.

Da ich von Uranus auch Videos mit kürzerer Belichtungszeit gemacht habe, habe ich diesen Prozess mit den Bildern, auf denen man die Monde erkennen kann, erneut gemacht. Ebenso habe ich die Videos der anderen Planeten gestackt, um ein ähnliches Ergebnis zu erzielen.

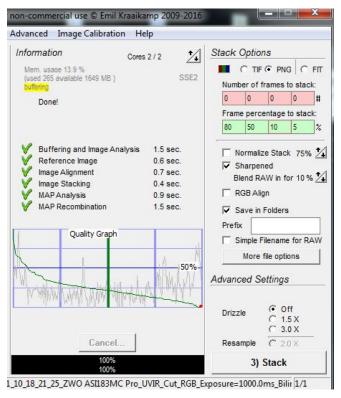


Abb. 68: Screenshot: Einstellungen auf Autostakkert für Schritt 3 (Stacken)

# 7.3 Bildschärfung mit Giotto

Die Bearbeitung der nun entstandenen Bilder ist der nächste Schritt gewesen. Diese mussten als nächstes geschärft werden, was ich mit dem Programm Giotto gemacht habe.

Dabei habe ich eines der gestackten Bilder ausgewählt und das Bearbeitungsmenü öffnen. Bei dem ersten Bild, was ich geschärft habe, also das kürzer belichtete Uranus-Bild, habe ich einen Dreiecksfilter genutzt, mit Kritischer Dämpfung als Charakteristik und Rechteck Rauschfilter in der Größe 3 in der Mitte. Diesen Filter habe ich mit 5 als Filtergröße ausgestattet und 2000% Filterwirkung. Auf dem Bild kann man in der rechten Ecke die Vorschau des Ergebnisses erkennen.

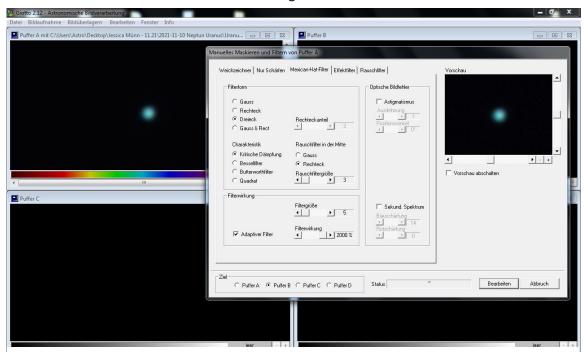


Abb. 69: Filtereinstellungen des Neptunbildes 1/2

Als nächstes ist die Schärfung von den länger belichteten Bild, auf dem Monde zu erkennen sind. Bei diesem Bild habe ich dieselben Einstellungen für die Filter benutzt, wie ich es zuvor getan habe.

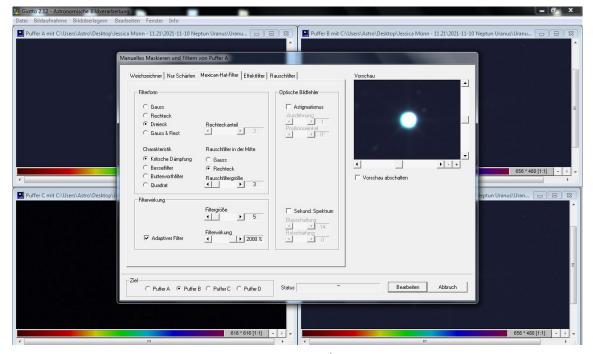


Abb. 70: Filtereinstellungen des Neptunbildes 2/2

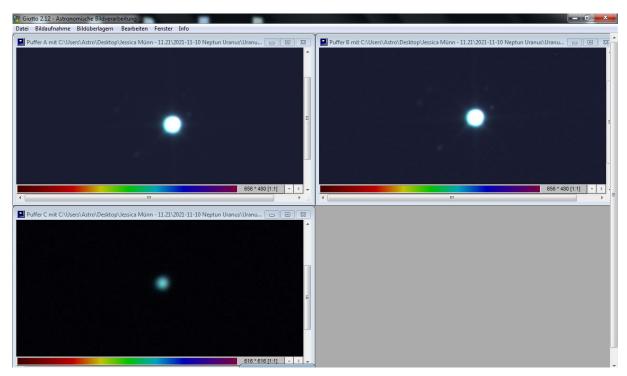


Abb. 71: Giotto; in Puffer A das unbearbeitete Bild, in Puffer B und C geschärfte Neptunbilder

Diese Bearbeitung habe ich dann ähnlich mit den weiteren Bildern ebenfalls gemacht. Der Screenshot Abb. 72 zeigt die Ergebnisse der Schärfung des Saturnbildes, was ebenfalls aus zwei Bildern bestand, sowie des Jupiters und im Vordergrund die Filtereinstellungen für die Schärfung des Neptunbildes. Die Schärfungseinstellungen für das Bild des Neptun waren recht ähnlich zu denen des Uranusbildes, aber ich habe ein paar Unterschiede, wie die Charakteristik und die Filterwirkung.

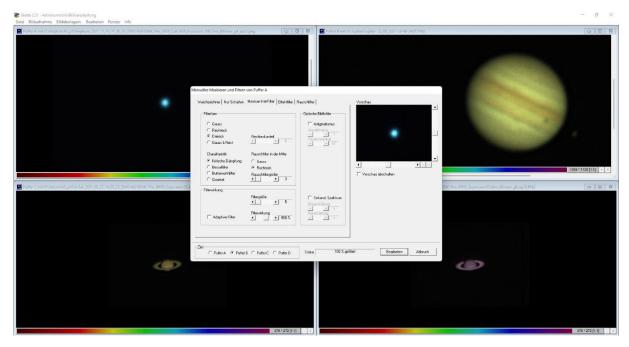


Abb. 72: Geschärfte Bilder des Jupiters (rechts oben); des Saturns (unten); Uranus ungeschärft (links oben) und im Zentrum ein Filtereinstellungsfenster

Saturn musste ich ebenfalls zweimal bearbeiten, weil ich eine insgesamt schärfere Version in Infrarot aufgenommen hatte und eine weniger scharfe Version in einer Farbaufnahme, daher habe ich beides bearbeitet, um sie dann aufeinander zu legen, um ein farbiges, scharfes Bild zu erhalten.

# 7.4 Weitere Bearbeitung

#### 7.4.1 Jupiter drehen und färben

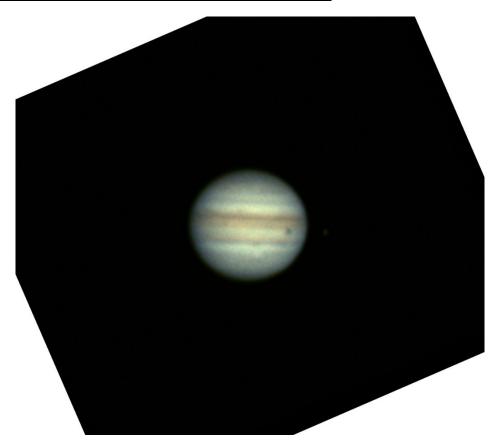
Nach der Schärfung habe ich die Bilder weiterbearbeitet. Das habe ich mit Photoshop und zur Identifikation der Objekte mit Winjupos gemacht. Neptun habe ich als einziges Bild nicht weiterbearbeitet.

Angefangen habe ich mit der Bearbeitung des Jupiterbildes:



Da sie noch sehr gelblich war, habe ich zuerst die Farben so korrigiert, dass sie der natürlichen Farbe des Planeten entsprechen. Weil das Bild Schief war, habe ich das Bild so gedreht, dass der Nordpol des Planeten oben ist und der Südpol unten, anstatt dass er in die linksuntere Ecke zeigt.

Abb. 73: Geschärftes Bild des Jupiters mit Mond Io rechts daneben



39

Dann habe ich das Bild zugeschnitten und den Mond daraufhin einzeln heller gemacht, damit in besser erkennen kann. Dann habe ich mit Winjupos die beiden Objekte bestimmt und festgestellt, um welchen Mond es sich, bei dem nun helleren Mond, handelt.



Abb. 75: Fertig bearbeitetes Bild von Jupiter mit Mond Io, aufgenommen am 22.09.2021

Dafür musste ich den beobachteten Planeten, das Datum und den Zeitpunkt in Weltzeit angeben und dann hat mir das Programm den Jupiter mit seinem Mond und Beschriftung der Objekte angezeigt, wodurch ich wusste, dass es sich bei dem Mond um den Mond lo handelt.

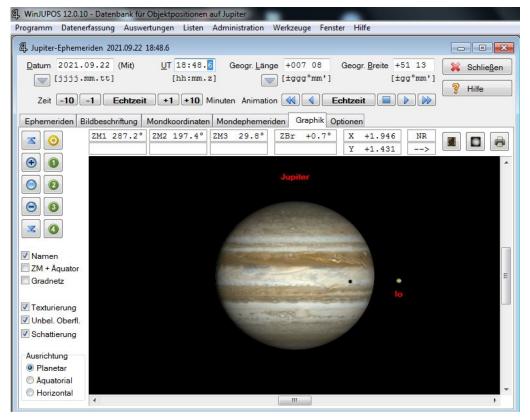


Abb. 76: Screenshot von Winjupos, Anzeige von Jupiter am 22.09.2021 um 18:48.6 Uhr.

#### 7.4.2 Saturn scharf und farblich darstellen

Als nächstes habe ich das gestackte Bild Saturns nachbearbeitet. Beim Saturn hatte ich zwei Aufnahmen. Da die eine, wie bereits erwähnt eine mit Infrarotfilter aufgenommene, dafür schärfere, aber farblose Aufnahmen war, und die andere eine Farbaufnahme war, habe ich mit Photoshop die beiden Bilder aufeinandergelegt, so dass ein Bild des Saturn entstand, was scharf und mit Farbe ist.



Abb. 77: Zwischenergebnis des Saturn-Farbbilds. Geschärft, ansonsten unbearbeitet



Abb. 78: Farbloses
Zwischenergebnis des
Saturn-Bildes
Ebenfalls geschärft,

Ebenfalls geschärft, aber sonst unbearbeitet



Abb. 79: Ergebnis der beiden aufeinandergelegten Saturnbilder

#### 7.4.3 Uranus bearbeitet

Ich habe bereits den bisherigen Bearbeitungsprozess des Uranusbildes beschrieben und in diesem letzten Schritt habe ich diese zwei Bilder aus dem vorherigen Schritt zusammengefügt. Da der Planet aufgrund des ersten Bearbeitungsschritts die richtige Farbe auf dem Bild hatte, konnte ich nun beginnen. Dafür habe ich das Programm Photoshop benutzt und zuerst aus dem kürzer belichteten Bild den Planeten ausgeschnitten.

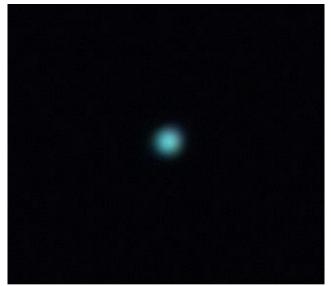


Abb. 80: Uranus kürzer belichtet, nach der Schärfung des Bilds



Abb. 81: Uranus mit Monden, länger belichtet nach der Schärfung des Bilds

Da auf dem länger belichteten Bild die Monde zu erkennen sind, wollte ich dieses als Grundlage nutzen, aber auch den eigentlichen Planeten als Scheibe darstellen, der in diesem Bild überbelichtet. Jedoch ist durch diese starke Belichtung um die Planetenscheibe eine Krone um sie herum entstanden. Diese sind auch im Endprodukt erkennbar.

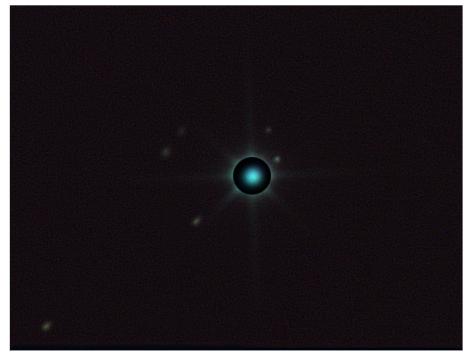


Abb. 82: Endprodukt Uranusbild, mit Uranus (in der Mitte) und seinen Monden (Miranda), Ariel, Umbriel, Titania und Umbriel

Daraufhin habe ich mit Winjupos ermittelt welche Monde, um den Uranus auf meinem Bild zu erkennen sind. Dabei habe ich dieselben Schritte wie auch bei der Ermittlung Jupiters gemacht und die Darstellung der Seite direkt neben mein Bild gestellt, dabei festgestellt, dass mein Bild um 90° gedreht war, deshalb habe ich es gedreht und dann konnte ich die Monde als Umbriel, Ariel, Oberon, Titania und Miranda, wobei Miranda in der Krone verloren geht oder zu nah am Planeten steht.

Man erkennt also Titania links unter der Planetenscheibe, Oberon leicht oben links neben dem Planeten und Umbriel und Ariel rechts über dem Planeten.

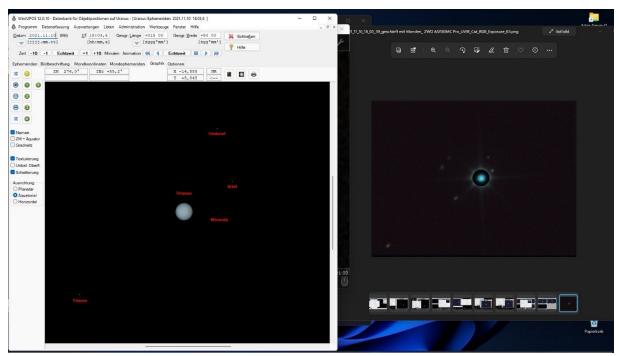


Abb. 83: Winjupos im linken Fenster, rechts daneben die finale Version des Uranusbildes

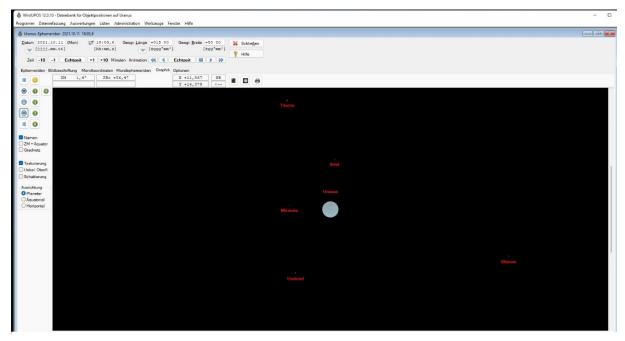


Abb. 84: Winjupos-Screenshot des Uranus und der Uranusmonde, wie sie am 11.10.2021 um ihn standen

# 8. Ergebnisse



Abb.9: Jupiter mit seinem Mond Io, aufgenommen am 22. September 2021



Abb.20: Saturn, in seinen Ringen die Cassini-Teilung und sein Schatten zu erkennen, aufgenommen am 22. September 2021

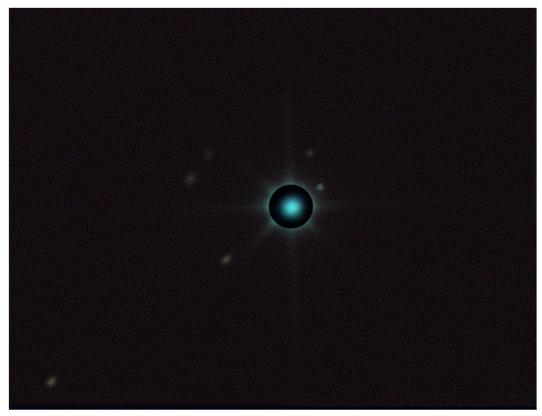


Abb. 27: Uranus, zusammengesetzt aus zwei Bildern, mit seinen Monden (im Uhrzeigersinn von oben rechts begonnen:) Ariel, Umbriel, Titania und Oberon, aufgenommen am 10. November 2021

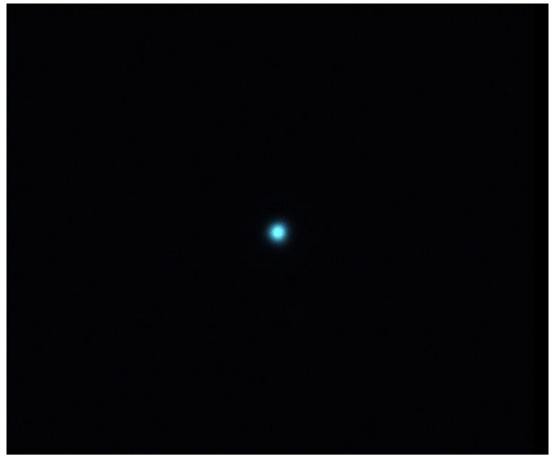


Abb. 34: Neptun, aufgenommen am 10. November 2021

# 9. Anhang

#### 9.1 Quellenverzeichnis

- [1] https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0603/
- [2] https://www.astronomie.de/fileadmin/user\_upload/Bibliothek/kleines\_lehrbuch\_der\_astronomie /Kleines%20Lehrbuch%20der%20Astronomie%20und%20Astrophysik%20Band%203.pdf, Seite 5
- [3] <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial">https://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial</a> planet
- [4] https://de.wikipedia.org/wiki/Riesenplanet
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Gas giant
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Ice\_giant
- [7] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 21, Seite 425, 429-430, 450-470
- [8] <a href="https://userpage.fu-berlin.de/~matteusbckr/planeten/jupiter/#:~:text=Jupiter%20ist%20">https://userpage.fu-berlin.de/~matteusbckr/planeten/jupiter/#:~:text=Jupiter%20ist%20</a> mit%20einem%20Äquatordurchmesser,hat%20keine%20sichtbare%20feste%20Oberfläche
- [9] Buch: Dorling-Kindersley-Buch: Eyewitness Science: Astronomie/ Geheimnisse des Universums mit seine Planeten und Sternen -> Seite 50-51
- [10] https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter (Planet)
- [11] Buch: Was ist was? Planeten und Raumfahrt -> Seite 8-10, Seite 24-29
- [12] <a href="https://www.astropage.eu/sonnensystem/planeten/jupiter-ringsystem/">https://www.astropage.eu/sonnensystem/planeten/jupiter-ringsystem/</a>
- [13] https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\_der\_Jupitermonde
- [14] https://de.wikipedia.org/wiki/Galileische Monde#Wissenschaftsgeschichte
- [15] <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Galileo\_Galilei#Galilei\_und\_die\_Kirche">https://de.wikipedia.org/wiki/Galileo\_Galilei#Galilei\_und\_die\_Kirche</a>
- [16] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 21, Seite 453-457
- [17] Präsentation von Bernd Koch: Jupiter
- [18] Buch: Dorling-Kindersley-Buch: Eyewitness Science:Astronomie bzw. Geheimnisse des

Universums mit seine Planeten und Sternen -> Seite 52-43

- [19] https://de.wikipedia.org/wiki/Saturn (Planet)
- [20] https://de.wikipedia.org/wiki/Cassinische Teilung
- [21] https://de.wikipedia.org/wiki/Ringe des Saturn
- [22] Präsentation von Bernd Koch: Saturn: file:///F:/Saturn.pdf
- [23] <a href="https://solarsystem.nasa.gov/news/13021/put-a-ring-on-it/">https://solarsystem.nasa.gov/news/13021/put-a-ring-on-it/</a>
- [24] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 21, Seite 461-464
- [25] https://de.wikipedia.org/wiki/Liste der Saturnmonde
- [26] <a href="https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/cassini-bilder-eisvulkan-auf-titan-entdeckt-a-359652.html">https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/cassini-bilder-eisvulkan-auf-titan-entdeckt-a-359652.html</a>
- [27] https://photojournal.jpl.nasa.gov/beta/catalog/PIA17179
- [28] Buch: Dorling-Kindersley-Buch: Eyewitness Science: Astronomie bzw. Geheimnisse des Universums mit seine Planeten und Sternen -> Seite 54-55
- [29] https://solarsystem.nasa.gov/planets/uranus/overview/
- [30] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 21, Seite 468
- [31] https://astrokramkiste.de/uranus-monde
- [32] <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus">https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus</a> (Planet)#:~:text=Die%20fünf%20Hauptmonde%20sind% 20Miranda,das%20masseärmste%20unter%20den%20Riesenplaneten.
- [33] https://www.deutschlandfunk.de/uranusmond-mit-bizarren-landschaften-miranda-heiss-und-100.html
- [34] https://de.wikipedia.org/wiki/Umbriel

- [35] <a href="https://www.spektrum.de/magazin/die-entdeckung-des-planeten-neptun/1418283#:~:text=Johann%20Gottfried%20Galle%20und%20Heinrich,aus%20Unregelmäßigkeiten%20der%20Uranusbahn%20vorhergesagt.">https://www.spektrum.de/magazin/die-entdeckung-des-planeten-neptun/1418283#:~:text=Johann%20Gottfried%20Galle%20und%20Heinrich,aus%20Unregelmäßigkeiten%20der%20Uranusbahn%20vorhergesagt.</a>
- [36] https://solarsystem.nasa.gov/planets/neptune/overview/
- [37] https://de.wikipedia.org/wiki/Liste der Neptunmonde
- [38] https://astrokramkiste.de/neptun-monde
- [39] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 21, Seite 469-470
- [40] https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00054
- [41] https://www.spektrum.de/thema/unser-sonnensystem/1414842
- [42] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 27, Seite 547-550
- [43] https://www.scinexx.de/news/kosmos/ist-pluto-doch-ein-planet/
- [44] https://www.sueddeutsche.de/wissen/pluto-zwergplanet-planet-iau-1.5488520
- [45] https://de.wikipedia.org/wiki/Liste der Raumsonden
- [46] <a href="https://solarsystem.nasa.gov/missions/pioneer-10/in-depth/">https://solarsystem.nasa.gov/missions/pioneer-10/in-depth/</a>
- [47] https://solarsystem.nasa.gov/missions/pioneer-11/in-depth/
- [48] https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/
- [49] https://de.wikipedia.org/wiki/Cassini-Huygens
- [50] https://solarsystem.nasa.gov/missions/galileo/overview/
- [51] https://www.nasa.gov/mission\_pages/juno/main/index.html
- [52] <a href="https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2021/10/neue-mission-der-nasa-gestartet-lucy-ist-auf-dem-weg-zum-jupiter">https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2021/10/neue-mission-der-nasa-gestartet-lucy-ist-auf-dem-weg-zum-jupiter</a>
- [53] https://solarsystem.nasa.gov/missions/lucy/in-depth/
- [54] <a href="https://www.astronomie.de/aktuelles-und-neuigkeiten/aktuelles-aus-der-astronomie/detailseite/wasserdampf-formte-das-uranus-system/">https://www.astronomie.de/aktuelles-und-neuigkeiten/aktuelles-aus-der-astronomie/detailseite/wasserdampf-formte-das-uranus-system/</a>
- [55] https://www.nature.com/articles/s41550-020-1049-8
- [56] <a href="https://www.nasa.gov/feature/jpl/saturns-moon-titan-drifting-away-faster-than-previously-thought">https://www.nasa.gov/feature/jpl/saturns-moon-titan-drifting-away-faster-than-previously-thought</a>
- [57] <a href="https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-scientists-discover-a-weird-molecule-in-titan-s-atmosphere">https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-scientists-discover-a-weird-molecule-in-titan-s-atmosphere</a>
- [58] <a href="https://www.nasa.gov/feature/jpl/data-from-nasas-cassini-may-explain-saturns-atmospheric-mystery">https://www.nasa.gov/feature/jpl/data-from-nasas-cassini-may-explain-saturns-atmospheric-mystery</a>
- [59] Europa Glows: Radiation Does a Bright Number on Jupiter's Moon | NASA
- [60] https://www.space.com/jupiter-x-ray-auroras-mystery-solved
- [61] <a href="https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-captures-vivid-auroras-in-jupiter-s-atmosphere">https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-captures-vivid-auroras-in-jupiter-s-atmosphere</a>
- [62] https://chandra.harvard.edu/photo/2017/jupiter/
- [63] https://www.nasa.gov/feature/jpl/40-year-mystery-solved-source-of-jupiter-s-x-ray-flaresuncovered
- [64] https://idw-online.de/de/news791686
- [65] <a href="https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/neptun-forscher-beobachten-erstaunliche-veraenderung/">https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/neptun-forscher-beobachten-erstaunliche-veraenderung/</a>
- [66] Buch: Erik Wischnewski: Astronomie in Theorie und Praxis, Band 5, 2012-2013; Kapitel 27, Seite 541-545
- [67] Nebularhypothese AnthroWiki
- [68] https://www.grenzwissenschaft-aktuell.de/kollisionsbarriere-physiker-loesen-raetsel-umbeginn-der-planetenbildung20191211/
- [69] <a href="https://www.grenzwissenschaft-aktuell.de/studenten-experimente-untersuchen-elektrische-phaenomene-zu-beginn-der-planetenentstehung20190117/">https://www.grenzwissenschaft-aktuell.de/studenten-experimente-untersuchen-elektrische-phaenomene-zu-beginn-der-planetenentstehung20190117/</a>

- [70] <u>Jupiters Wanderung enträtselt Riesenplanet driftete schon vor Bildung seiner Gashülle nach innen scinexx.de</u>
- [71] Welt der Physik: Jupiter und Saturn wanderten durchs Sonnensystem
- [72] <u>Jupiter-Wanderung schuld an kleinem Mars?</u> <u>Wanderung der Gasriesen könnte Marsgröße und Zusammensetzung des Asteroidengürtels erklären scinexx.de</u>
- [73] Astro Kamera ASI 183MC Pro (astromann.de)

### 9.2 Abbildungsverzeichnis

- Titelbild: https://solarsystem.nasa.gov/resources/2284/our-solar-system-poster-version-b/, NASA
- Abb. 2: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gas giants in the solar system.jpg, NASA
- Abb. 3: https://www.iau.org/public/images/detail/iau0603d/, IAU, credits to Lars Holm Nielsen
- Abb.4: https://www.iau.org/public/images/detail/iau0603a/, IAU, credits to Martin Kornmesser
- Abb. 5: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Riesenplanet#/media/Datei:Gas\_Giant\_Interiors-de.png">https://de.wikipedia.org/wiki/Riesenplanet#/media/Datei:Gas\_Giant\_Interiors-de.png</a>, NASA
- Abb. 6: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Sonnensystem-Grafik.pdf, Urheber: Beinahegut
- Abb. 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Giant\_planet#/media/File:Gas\_Giants\_&\_The\_Sun\_in\_1,000\_
- km.jpg, NASA/JPL, Wiki-User HalloweenNight; Zusammensetzung mehrerer Bilder von PlanetUser
- Abb. 8: https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02873, NASA
- Abb. 9, 20, 27, 34: eigene Anfertigung, siehe Seite 44-45
- Abb. 10: https://www.astropage.eu/sonnensystem/planeten/jupiter/jupiter-ringsystem/, NASA/JPL/Cornell University
- Abb. 11: Galileo's Drawings and Writings | High Altitude Observatory (ucar.edu), NCAR
- Abb. 12: Galileo Galilei 2 Galileo Galilei Wikipedia, Domenico Tintoretto
- Abb. 13: https://de.wikipedia.org/wiki/lo\_(Mond)#/media/Datei:lo\_highest\_resolution\_true\_color.jpg, NASA/JPL/University of Arizona
- Abb. 14: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00502, NASA/JPL/DLR
- Abb. 15: https://de.wikipedia.org/wiki/Ganymed (Mond)#/media/Datei:Ganymede Perijove
- 34 Composite.png, NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Kevin M. Gill Ganymede Perijove 34 Composite
- Abb. 16: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03456, NASA/JPL/DLR (German Aerospace Center)
- Abb. 17: Catalog Page for PIA20701 (nasa.gov), NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS
- Abb. 18: https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06193, NASA/JPL/Space Science Institute
- Abb. 19: https://de.wikipedia.org/wiki/Ringe\_des\_Saturn#/media/Datei:Saturn's\_ring\_plane.jpg,
- bzw. http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06536), NASA/JPL/Space Science Institute Cassini-Huygens/NASA (Beschriftung von: en:User:The Singing Badger )
- Abb. 20: siehe oben (Abb. 9)
- Abb. 21: <a href="https://solarsystem.nasa.gov/news/13021/put-a-ring-on-it/">https://solarsystem.nasa.gov/news/13021/put-a-ring-on-it/</a>, NASA/JPL/Space Science Institute
- Abb. 22: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10371541, NASA / JPL-Caltech / Space Science InstituteInstitute
- Abb. 23: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06254, NASA/JPL/Space Science
- Abb. 24: https://photojournal.jpl.nasa.gov/beta/catalog/PIA17179, NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute
- Abb. 25: https://photojournal.jpl.nasa.gov/beta/catalog/PIA12797, NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute
- Abb. 26: https://solarsystem.nasa.gov/resources/605/keck-telescope-views-of-uranus/, Lawrence Sromovsky, University of Wisconsin-Madison/W.W. Keck Observatory
- Abb. 27: siehe oben (Abb. 9)
- Abb. 28: https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA18185, NASA/JPL-Caltech
- Abb. 29: https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00036, NASA/JPL/Voyager 2

- Abb. 30: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00040, NASA/JPL
- Abb. 31: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01534, NASA/JPL
- Abb. 32: https://astrokramkiste.de/uranus-monde, Courtesy NASA/JPL-Caltech
- Abb. 33: <a href="https://solarsystem.nasa.gov/planets/neptune/overview/">https://solarsystem.nasa.gov/planets/neptune/overview/</a>, NASA/JPL
- Abb. 34: siehe oben (Abb. 9)
- Abb. 35: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00317, NASA/JPL/ U.S. Geological Survey
- Abb. 36: https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00054, NASA/JPL
- Abb. 37: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Pioneer\_10\_Construction.jpg, NASA Ames Research Center
- Abb. 38: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=126674, NASA/JPL
- Abb. 39: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6449019, NASA Great Images in NASA Description
- Abb. 40: http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA13746, NASA/JPL
- Abb. 41: <a href="https://solarsystem.nasa.gov/missions/lucy/in-depth/">https://solarsystem.nasa.gov/missions/lucy/in-depth/</a>, Southwest Research Institut
- Abb. 42: https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01278, NASA/JPL/STScI
- Abb. 43: <a href="https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-scientists-discover-a-weird-molecule-in-titan-s-atmosphere/">https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-scientists-discover-a-weird-molecule-in-titan-s-atmosphere/</a>, NASA/JPL/Space Science Institut
- Abb. 44: <a href="https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06436">https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06436</a>, NASA/JPL/University of Leichester
- Abb. 45: <u>Catalog Page for PIA13402 (nasa.gov)</u>, NASA/JPL/University of Arizona/University of Leichester
- Abb. 46: <a href="https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-captures-vivid-auroras-in-jupiter-s-atmosphere">https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-captures-vivid-auroras-in-jupiter-s-atmosphere</a>, NASA/ESA/J. Nichols (University of Leicester)
- Abb. 47: <a href="https://idw-online.de/de/image?id=363099&size=screen">https://idw-online.de/de/image?id=363099&size=screen</a>, IDW/ESO/M. Roman, NAOJ/Subaru/COMICS
- Abb. 48: https://www.oekosystem-erde.de/html/sonnensystem.html, NASA/FUSE/Lynette Cook
- Abb. 49: <a href="https://www.astropage.eu/2019/03/25/neue-erkenntnisse-zur-migration-jupiters-im-sonnensystem/">https://www.astropage.eu/2019/03/25/neue-erkenntnisse-zur-migration-jupiters-im-sonnensystem/</a>, NASA/JPL-Caltech
- Abb. 50: https://en.wikipedia.org/wiki/File:InnerSolarSystem-en.png, Wiki-Nutzer Mdf
- Abb. 51: <a href="https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/hubbles-grand-tour-of-the-outer-solar-system/">https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/hubbles-grand-tour-of-the-outer-solar-system/</a>, NASA/ESA
- Abb. 52-84: eigene Aufnahmen und Screenshots

#### 9.3 Softwareverzeichnis

- 1. Stellarium Astronomy Software
- 2. FireCapture | Planetary Image Capture
- 3. Giotto-Software
- 4. AutoStakkert! AS! Stacking Software Lucky Imaging with an Edge Emil Kraaikamp AS!2, AS!3
- 5. Fotos transformieren und stylishe Grafiken gestalten | Adobe Photoshop

### 9.4 Danksagung

Zunächst möchte ich der Schule danken, dass sie uns Schülern die Möglichkeit gibt auf diese Art Astronomie für uns zu entdecken und eine Sternwarte auf dem Dach zur Verfügung stellt.

Des Weiteren bin ich Herrn Koch sehr dankbar, für seine Unterstützung besonders im Bereich der praktischen Arbeit, aber auch bei der Themenfindung und sonstiger Unterstützung bei jedem Problem. Er hat den Projektkurs auf diese Art erst möglich gemacht und hat uns allen sehr geholfen und unterstützt, wo er konnte.

Vielen Dank auch an alle, die mich bei der Arbeit an der Projektarbeit unterstützt haben, darüber gelesen haben, um Fehler zu finden und mir Motivation gegeben haben!

## 9.5 Abschlusserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Ort & Datum			
Jessica Münn			