

Bericht-Uranus

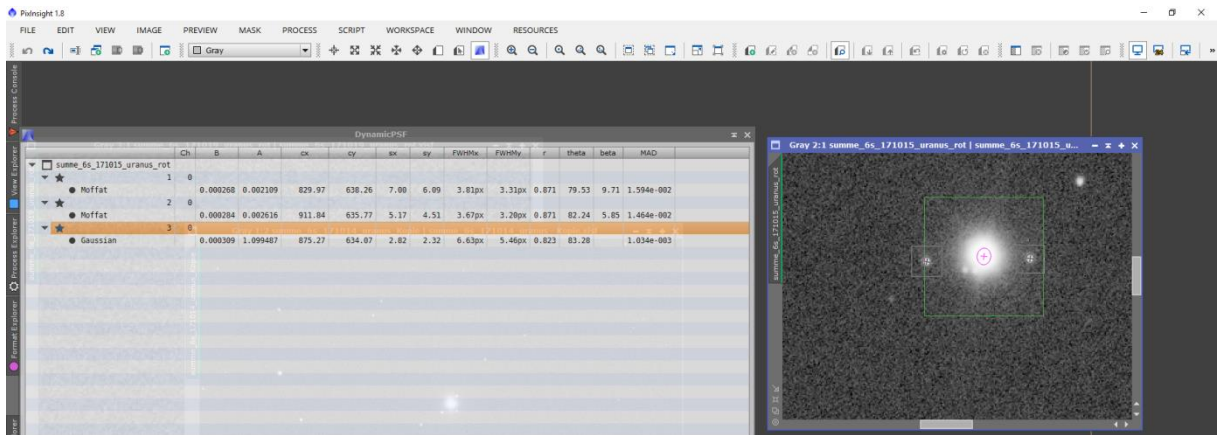
Als mich Herr Wiedemair an einem Beobachtungsabend der Astrogruppe am Anfang des Schuljahres fragte, ob ich denn schon ein Schwerpunktthema für die Matura ausgewählt hätte, verneinte ich. So kam es, dass er mir, wegen des günstigen Standes des Uranus, ein Projekt vorschlug, bei dem es darum gehen sollte, die Umlaufbahnen der Uranusmonde zu vermessen, um daraus die Masse des Planeten zu berechnen. Ich war vom Vorschlag begeistert und so machte ich mich daran, den Plan umzusetzen.



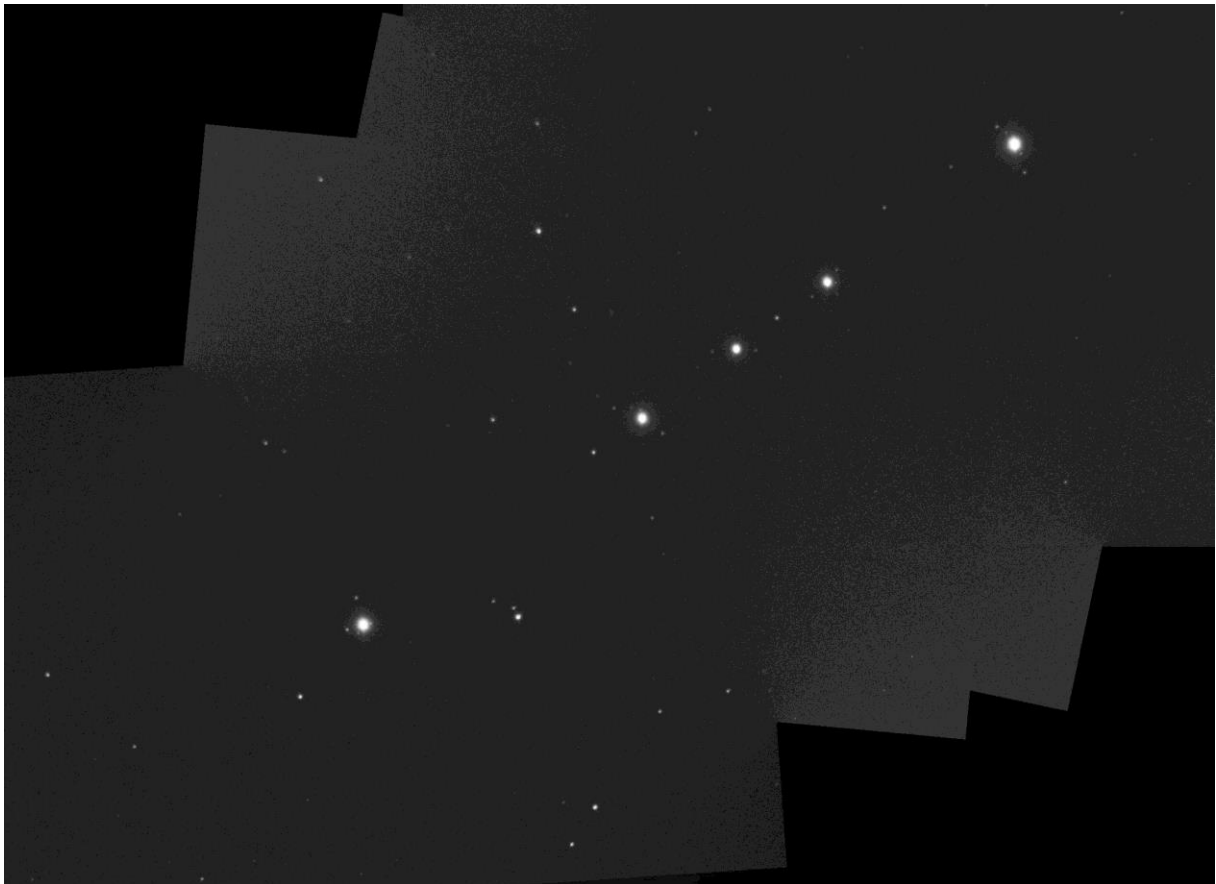
Der erste Schritt war die Datensammlung. An fünf Nächten um die Uranusoppositionsstellung im Oktober nahmen verschiedene Mitglieder der Astrogruppe mit dem Schulteleskop Bilder des Uranus auf. Auf unseren Aufnahmen kann man Uranus selbst, aber auch seine vier größten Monde Oberon, Ariel, Umbriel und Titania (von unten nach oben), erkennen.

Zusätzlich haben wir in jeder Nacht einen schnellen Schnappschuss eines uns bekannten Sternfeldes gemacht. Dieser Schachzug sollte uns zeigen, wie die Bilder der einzelnen Nächte aufgrund der stets unterschiedlichen Anbringung der Kamera gegeneinander verdreht sind und es uns nachträglich erlauben, diese Drehung wieder rückgängig zu machen.

In den Weihnachtsferien wandte ich mich gemeinsam mit Christof Wiedemair der Auswertung der gewonnenen Bilder zu! Um die nächsten rechenaufwendigen Schritte durchzuführen, benutzten wir das äußerst mächtige Astronomieprogramm *PixInsight*. Nach den üblichen Schritten der astronomischen Bildkalibration, machten wir die verfälschende Drehung der Bilder, wie vorher angemerkt, rückgängig. Jetzt war der Zeitpunkt gekommen, die relevanten Daten aus den Aufnahmen herauszulesen. Wichtig für das Projekt waren die Bewegung der Monde um Uranus und die Bewegung des Planeten selbst. Für die Bahn der Trabanten lasen wir die Pixelkoordinaten jeder Nacht, der Monde Oberon und Titania und des Uranus, ab. Hierzu legten wir mit Pixinsight eine Moffat- bzw. Gaussfunktion über die Abbildungen der Himmelskörper und lasen die subpixelgenau angezeigte Position des Hochpunktes aus der Statistik ab. Die Differenzen von Uranusposition und Mondposition sollte die Umlaufbewegung der Monde im Laufe der Tage verraten. Umbriel und Ariel gingen in einigen Bildern im Schein des Uranus unter und ließen sich somit nur schwer vermessen. Sie wurden beim weiteren Vorgehen ausgeklammert.

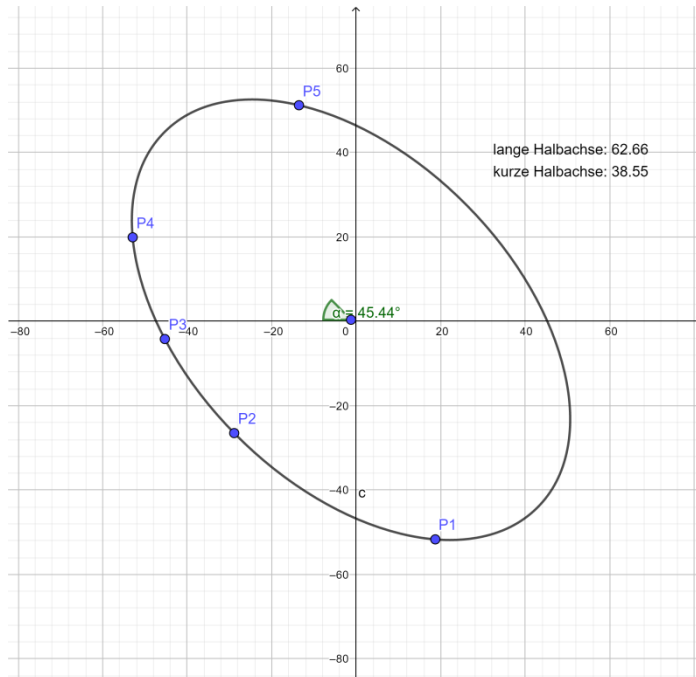


Für die Vermessung der Bewegung des Gasriesen Uranus selbst erstellte Christof ein Mosaik der 5 Bilder, auf denen man sieht, wie er sich am Himmel weiterbewegt hat. Die erste Position unten links nahm Uranus am 12.10.17 ein, die letzte oben rechts am 19.10.17. Die korrekte Überlagerung der Einzelbilder gelang durch die sichtbaren Hintergrundsterne.

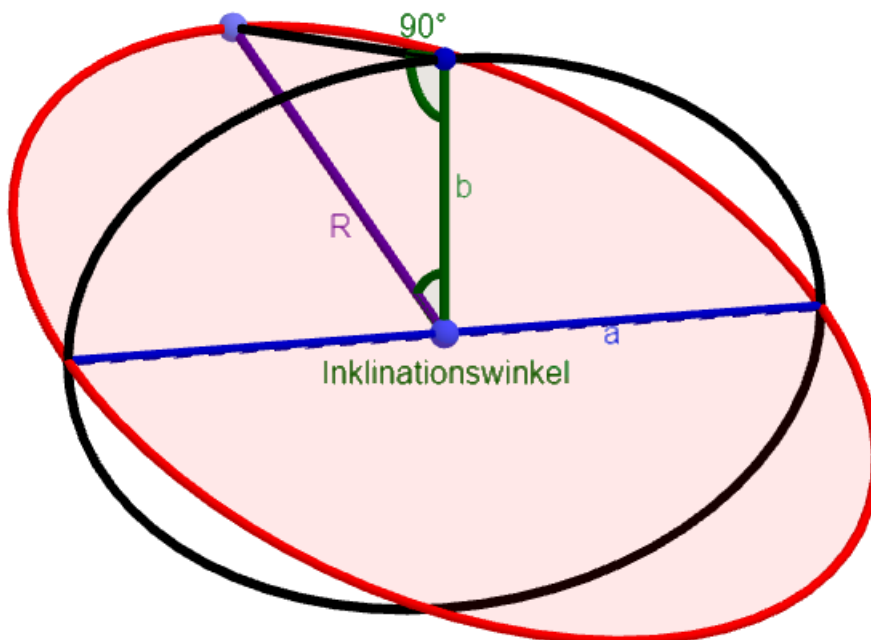


Nun konnte die Rechnerei beginnen. Ich trug die abgelesenen Koordinaten der Monde in ein kartesisches Koordinatensystem ein, wobei ich Uranus in den Ursprung setzte. Mit der

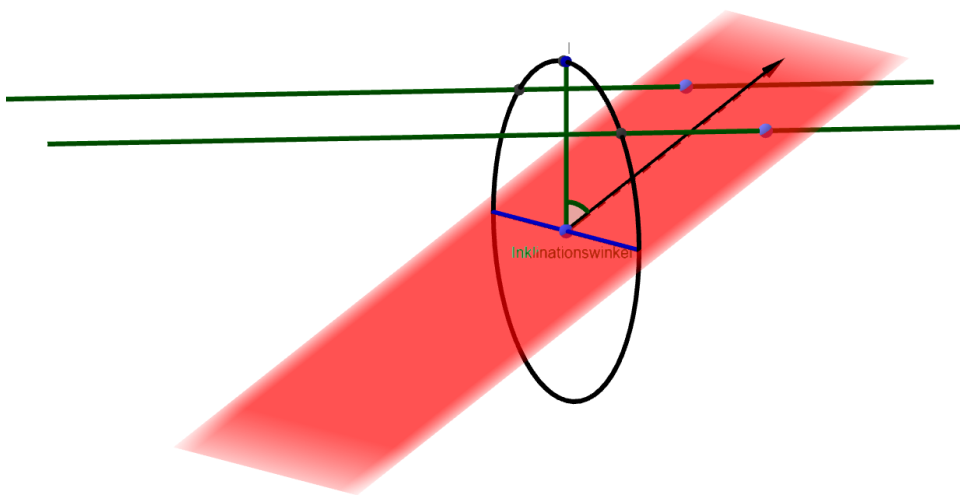
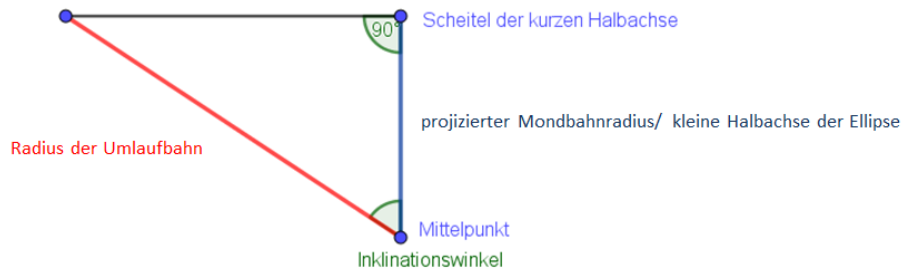
Geometriesoftware *Geogebra* legte ich eine Ellipse durch die jeweiligen Punkte.



Um später die Masse des Planeten ausrechnen zu können, gehe ich von kreisförmigen Umlaufbahnen aus. Die durch die Punkte erhaltene Ellipse ist also nur scheinbar. Die wahre Umlaufbahn ist kreisförmig, jedoch ist sie im Raum geneigt, was zur scheinbaren Ellipse führt. Die nachfolgende Skizze hilft zum besseren Verständnis. Hier ist die Umlaufbahn in rot dargestellt und die daraus resultierende Ellipse in schwarz. Man sieht, dass die Kreisbahn um einen gewissen Inklinationswinkel geneigt ist, welcher je nach Größe, die Exzentrizität der Ellipse beeinflusst.



Die nächste Aufgabe war, herauszufinden, wo sich die Punkte auf dem realen Kreis befinden. Der Inklinationwinkel, also um wie viel die Bahn geneigt ist, war nicht sehr schwer auszurechnen, da die große Halbachse der Ellipse identisch mit dem Radius des Kreises ist, wie in der oberen Skizze zu sehen ist. Daraus resultiert ein rechtwinkliges Dreieck, in welchem die Berechnung des

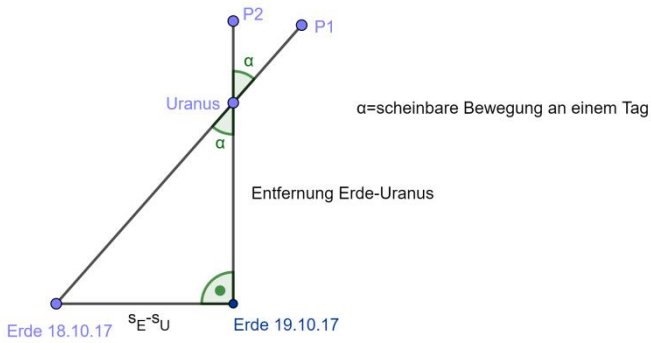


Neigungswinkels recht einfach vonstattenging. Den ursprünglichen Kreis erhielt ich nun durch Vektorrechnung: Ich stellte eine Gleichung für die Ebene auf, in welcher die geneigte Kreisbahn liegt. Nun legte ich Geraden durch die 5 bekannten Punkte auf der Ellipse. Die Geraden waren jeweils orthogonal auf die Ellipsenebene. Zum Schluss schnitt ich besagte Geraden mit der Ebene der Kreisbahn, um die Projektion der Punkte

auf ein zweidimensionales Koordinatensystem rückgängig zu machen.

Die erste Hürde war geschafft, auf die Umlaufzeiten der Trabanten konnte ich nun ohne Probleme schließen. Dafür habe ich jeweils den Winkel des Kreissektors zwischen zwei Punkten berechnet und von der verstrichenen Zeit zwischen den beiden Punkten, auf die ich aufgrund der Beobachtungszeitpunkte schließen konnte, die gesamte Umlaufzeit ausgerechnet. Dies habe ich bei beiden Monden bei allen 5 Messpunkten durchgezogen und später das arithmetische Mittel aller Gesamtumlaufzeiten gebildet

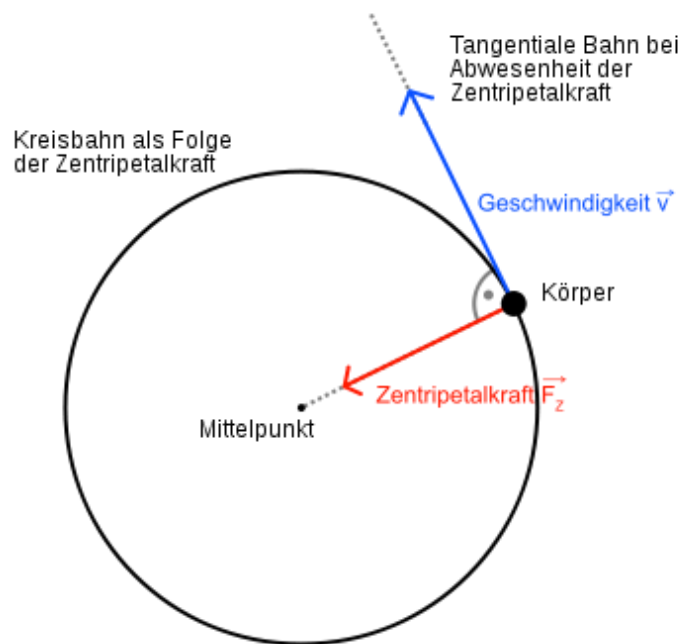
Um die Masse des Planeten zu erhalten, brauchte ich aber den Radius der Umlaufbahnen in Kilometern. Aus dem Abbildungsmaßstab des Bildes lässt sich zwar der Radius in Bogensekunden ermitteln, doch daraus erhält man eine Absolutangabe nur, wenn man weiß wie weit Uranus selbst entfernt ist. Der Lösung dieses Problems lag in der Bewegung des Uranus um die Sonne. Auf dem vorher angeführten Mosaik, wo man die Bewegung des Planeten sieht, ist es möglich abzulesen um wie viel Bogensekunden sich der Gasriese pro Tag bewegt. Mithilfe des dritten Keplerschen Gesetzes, das uns einen konstanten Zusammenhang zwischen Umlaufzeit und Bahnradius der Planeten eines Sonnensystems zeigt, und einer Annäherung des Parallaxeneffekts, (Annäherung weil sich der Uranus selbst bewegt), haben Herr Wiedemair und ich dies bewerkstelligt. Die Näherung funktioniert nur



wenige Tage vor oder nach der Oppositionsstellung, da sich dann Erde und Uranus fast parallel bewegen. Glücklicherweise fiel die Oppositionsstellung auf den 19. Oktober, also genau in den Zeitraum unserer Messungen.

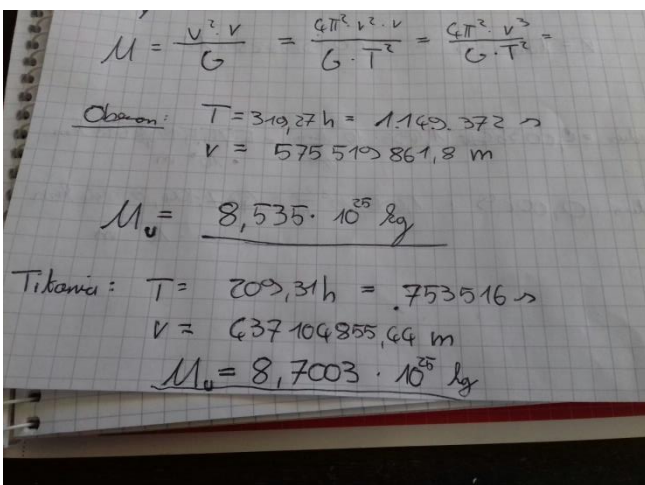
S_E : Strecke die die Erde an einem Tag zurücklegt.
 S_U : Strecke die der Uranus an einem Tag zurücklegt.

Nun waren alle nötigen Daten gesammelt, die eigentliche Berechnung konnte gemacht werden. Dazu setzte ich Gravitationskraft und Zentralkraft für jeden Mond gleich,



<https://de.wikipedia.org/wiki/Zentripetalkraft#/media/File:Zentripetalkraft.svg>

formte die Gleichung auf die Masse des zentralen Körpers um und rechnete sie aus. Bei dieser Methode wird angenommen, dass der Schwerpunkt des Systems im Mittelpunkt des Uranus liegt und die Monde selbst masselos sind. Es handelt sich also um eine Näherung, die jedoch bei so großen Masseunterschieden zwischen Planet und Trabant ziemlich genau ist.



Die Masse, die durch die Bahn Oberons berechnet wurde, weicht lediglich um 1.7% vom Literaturwert ab, die durch die Daten Titantias berechnete gar nur um 0.2%!

Um das Ergebnis in seiner Aussagekraft zu stärken, könnte man probieren auch die Bahnen Umbriels und Ariels zu vermessen. Dafür müsste

man Uranus dämpfen um die Pixelpositionen der Monde richtig ablesen zu können, da Ariel und Umbriel, wie vorher angedeutet, den Planeten zu nah umkreisen und er sie somit fast überstrahlt.

Nichtsdestotrotz hat mir die, über das Jahr verteilte, Umsetzung des Projektes große Freude bereitet. Umso mehr freut es mich, dass sich die die Ergebnisse sehen lassen können!

David Niederkofler