Facharbeit in Physik

2012

Bestimmung der Jupiterrotationsdauer
Methodenvergleich Spektroskopie und Videostacking

Quelle: Stellarium

Erik Naaßner

Firas Al-Omari

Physik / 1

Jahrgangstufe 12

Michael Winkhaus & Bernd Koch

Carl-Fuhlrott-Gymnasium

19.03.2012

Gliederung

1. Einleitung
2. Allgemeine Informationen über Jupiter
3. Was ist Astrofotografie/Astrovideografie?
4. Was ist Sternspektroskopie?

   4.1.1. Das Prinzip des Prismas

   4.1.2. Das Prinzip des Gitters (Doppelspalt)

   4.2. Verschiedene Arten von Spektren

   4.2.1.Das kontinuierliche Spektrum

   4.2.2. Das Emissionsspektrum

   4.2.3.Das Absorptionsspektrum
5. Spektroskopie mit dem DADOS-Spektrographen

   5.1. Gerätebeschreibung

   5.1.1 Geräteeigenschaften

   5.1.3. Vorteile des Blaze-Reflexionsgitters
6. Eigene Aufbaubeschreibung der Geräte am Schülerlabor Astronomie des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal

   6.1 Aufnahme von Spektren des Planeten Jupiter am 12,5‘‘ Cassegrain in Station 7

   6.2 Aufnahme von Videos des Planeten Jupiter am Celestron 11 Edge HD
7. Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit des Planeten Jupiter mittels Spektroskopie

   7.1 Der Dopplereffekt

   7.2 Auswertung des Jupiterspektrums und Messung der Rotationsgeschwindigkeit
8. Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit mittels Videobearbeitung
9. Vergleich der Methoden: Spektroskopie oder Videografie?
10. Danksagung
11. Anhang

1. Einleitung

Nachdem bekannt geworden war, dass Himmelskörper rotieren (sowohl um sich selbst wie auch um andere Himmelskörper) begann man unter anderem mit dem Versuch, die Eigenrotation zu bestimmen, um diese mit der Rotation der Erde zu vergleichen.

Neben der offensichtlichen Möglichkeit, die Objekte zu beobachten (beispielsweise über Fotos), kam man durch die Entdeckung des Dopplereffekts auf die Idee, dass sich die Rotationsgeschwindigkeit auch hierdurch bestimmen lassen sollte.

In dieser Arbeit wollen wir uns genauer mit den beiden Methoden auseinandersetzten und einen Vergleich ziehen. Dazu werden wir exemplarisch am Planeten Jupiter dessen Rotationsgeschwindigkeit bestimmen, sowie unsere Vorgehensweise dokumentieren.

Es gibt mittlerweile mehrere Arbeiten, welche die Rotationsgeschwindigkeit einzelner oder mehrerer Objekte bestimmt haben. Diese wurden zum Teil von Amateurastronomen, teils von professionell arbeitenden Astronomen angefertigt. Aufgrund der unterschiedlichen technischen Möglichkeiten und der Notwendigkeit eigener Erfahrungen ist es für einen Vergleich daher dennoch nötig, selbst die Messungen vor zu nehmen, was zugleich einen Blick darauf gewährt, was mit der durchaus guten, jedoch mit denen der professionell arbeitenden Astronomen nicht vergleichbaren Technik zu erreichen ist.

Neben den schon genannten Aspekten darf diese Arbeit auch gerne als Anregung für jeden dienen, der die Methoden zur Rotationsgeschwindigkeitsbestimmung verfeinern oder in sonst einer Weise weiter entwickeln möchte.

2. Allgemeine Informationen über Jupiter [1]

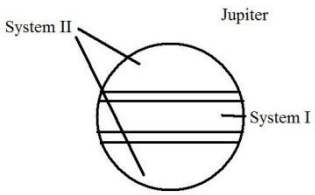
Jupiter ist einer der hellsten Planeten im Nachthimmel und ist nach dem römischen als Hauptgott bekannt. Wegen seines goldgelben Lichts galt er in Babylonien als Königsstern, worauf dies auf den Stern von Bethlehem verweist. Mit rund 143.000 Kilometern Äquatordurchmesser ist Jupiter der größte Planet des Sonnensystems. Aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung zählt er zu den Gasplaneten[1] und besitzt keine feste Oberfläche. Nach ihm wurden auch die Gasriesen als „jovianische“ Planeten benannt. Diese Gasriesen bilden im Sonnensystem eine Gruppe von äußeren Planeten, wobei Jupiter der Innerste in dieser Gruppe ist. Außerdem hat er keine klar begrenzte Atmosphäre, da der ganze Planet fast nur aus Gasen besteht.

Seine Umlaufbahn beschreibt eine annähernd kreisförmige Bewegung. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt Jupiter 11 Jahre, 315 Tage und 3 Stunden. Als massenreichster Planet sorgt er für eine Stabilisierung des Asteroidengürtels[2] und bildet im Sonnensystem ein Massengleichgewicht. Deswegen trägt Jupiter eine sehr wichtige Funktion im Sonnensystem, da ohne Anwesenheit des Planeten fast alle 100.000 Jahre ein Asteroid die Erde treffen würde und somit das Leben auf der Erde unmöglich wäre.

Des Weiteren ist Jupiter der Planet, der sich am schnellsten um seine Achse dreht. Dabei ist seine Rotationsachse nur 3,13° gegen seine Umlaufbahn um die Sonne geneigt. Somit hat Jupiter im Gegensatz zu anderen Planeten keine ausgeprägten Jahreszeiten. Seine Äquatorregionen (System I) rotieren schneller um den Planeten als die Polarregionen (System II).

Abb. 1: Jupiter mit Rote Fleck [1]

Ein sehr deutliches Merkmal ist der Große Rote Fleck (Abb. 1). Dieser umkreist als größter Wirbelsturm ständig den Jupiter und kennzeichnet sich als ein riesiger ovaler Antizyklon. Insgesamt besitzt Jupiter 67 bekannte Monde. Die vier wichtigsten und berühmtesten Monde sind Io, Europa, Ganymed und Kallisto. Diese wurden von Galileo Galilei[3] am 07.01.1610 entdeckt.



[1] Gasplaneten sind große, schnell rotierende Planeten, die aus leichten Elementen (z.B. Wasserstoff, Helium) bestehen und haben einen geringen Anteil an schwererem Material (Gestein, Metalle)
[2] Asteroidengürtel = Asteroiden und Zwergplaneten zwischen den Planetenbahnen von Mars und Jupiter
[3] Galileo Galilei(1564-1642) = ital. Philosoph, Mathematiker, Physiker und Astronom

Teil 1:

Theorie zur Astrografie und Spektroskopie

3. Was ist Astrofotografie/Astrovideografie? [2]

Die Astrofotografie ist eine Methode, Sterne und andere Himmelskörper auf verschiedenen Medien (z.B. fotografisch) zu speichern. Um große Felder des Sternhimmels erfassen zu können, werden Spezialkameras verwendet (Astrografen). Dadurch lassen sich Sternörter und deren Bewegungen erfassen. Außerdem wird hierbei die Helligkeit vieler Sterne exakt ausgemessen oder es werden Spektren von Sternen und anderen Objekte mit Hilfe der Spektrografie aufgenommen. In der Amateurastronomie werden größtenteils auch digitale Kameras eingesetzt. Diese sind zum Beispiel CCD-Kameras und spezielle Videokameras, also meist Kameras auf CMOS- und CCD-Basis (Abb.2).

Abb. 2: DMK CCD Videokamera [2]

4. Was ist Sternspektroskopie? [3]

Sternspektroskopie ist eine Methode, Sterne zu analysieren, indem das Sternlicht in seine Spektralfarben zerlegt wird und sich als Spektrum äußert. Dank der Sternspektroskopie lassen sich nun alle bekannten Sterne identifizieren und auch somit nach Spektralklassen (Harvard)[4] einordnen. Außerdem ermöglicht uns diese Untersuchung zum Beispiel chemische Substanzen zu ermitteln, wobei dies eine sehr wichtige Rolle bei der Identität der einzelnen Sterne spielt.

Insgesamt gibt es zwei Möglichkeiten, die uns ermöglichen, Spektren aufzunehmen: Zum einen mit einem Prisma und zum anderen mit einem Gitter (Doppel- und Mehrfachspalt). Beide nutzen „dispersive[5]“ Elemente, die in der Lage sind. Licht in seine Spektralfarben zu zerlegen.

[4] Harvard Spektralklassen: Berühmteste Klassifikation zur Anordnung der Sternspektren in Gruppen.
[5] Dispersion = Aufspaltung

4.1.1. Das Prinzip des Prismas

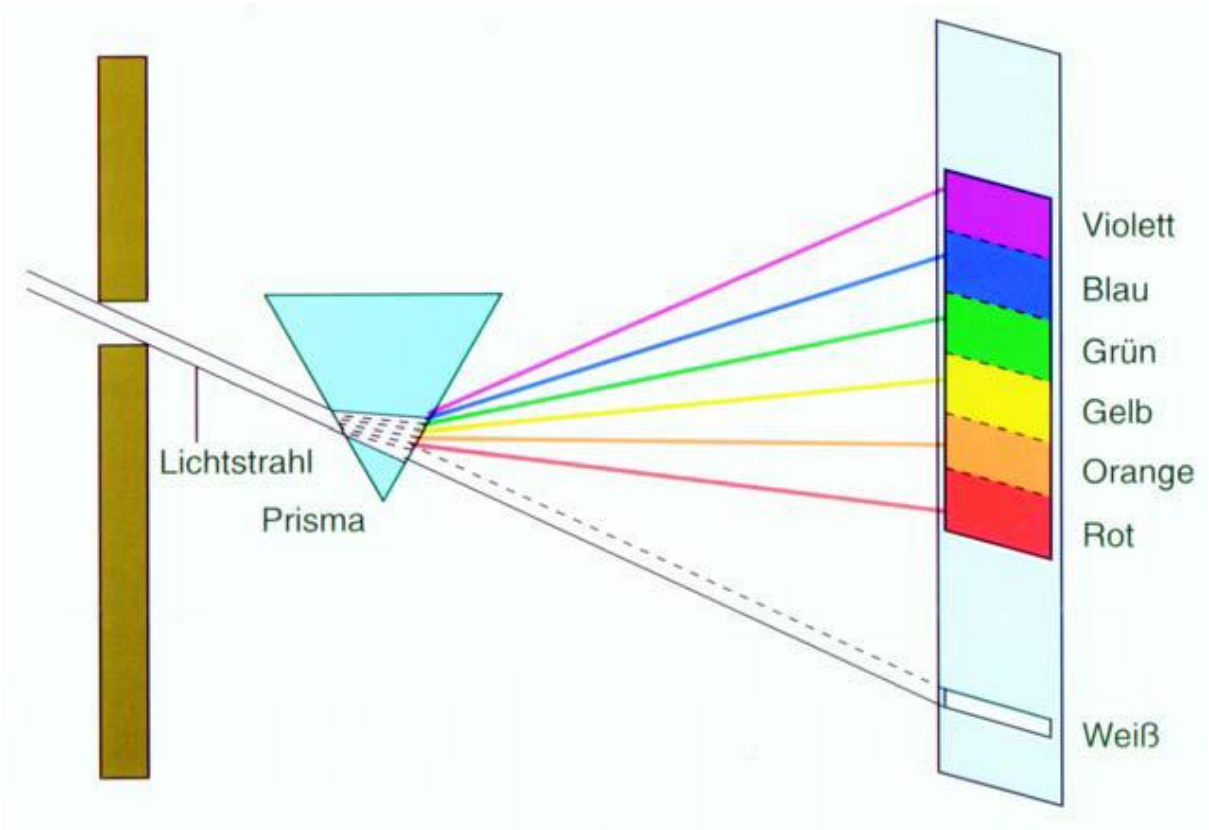


Abb. 3: Zerlegung weißen Lichts in seine Spektralfarben mittels eines Prismas. [3]

Bei einem Prisma fällt das Licht schräg auf eine seiner Seitenflächen bzw. Planflächen und wird aus seiner kommenden Richtung abgelenkt und aufgespalten. Dasselbe passiert nochmals beim Verlassen des Dispersionsprismas durch eine zweite Seitenfläche. Je nach Wellenlänge wird der einfallende Lichtstrahl mit unterschiedlich großen bzw. kleinen Winkeln gebrochen. Das heißt, Licht mit einer kleineren Wellenlänge (blaues Licht), wird aufgrund seiner höhere Energie stärker gebrochen als das Licht mit einer größeren Wellenlänge (rotes Licht).Da dies eine recht einfache Methode ist, wurde zu Beginn der Sternspektroskopie der öfteren Prismen verwendet und daher werden diese heute noch sehr geschätzt.

4.1.2. Das Prinzip des Gitters (Doppelspalt)

Die einfachste Version eines Gitters ist der Doppelspalt. Hierbei trifft ein paralleles weißes Lichtbündel Licht senkrecht von hinten auf das Gitter. So ergeben sich in den beiden Spalten sogenannte Elementarwellen. In Fortsetzung verlässt ein Teil des Lichts den Gitter-Ausgangspunkt und erscheint im Zentrum der Spektralserien als weißes Band. Das restliche Licht wird aus seiner Richtung gebeugt und ist von der Wellenlänge abhängig, wie stark der Beugungswinkel beeinflusst wird. Unsere Augen nehmen diese als Abfolge von Farben wahr.

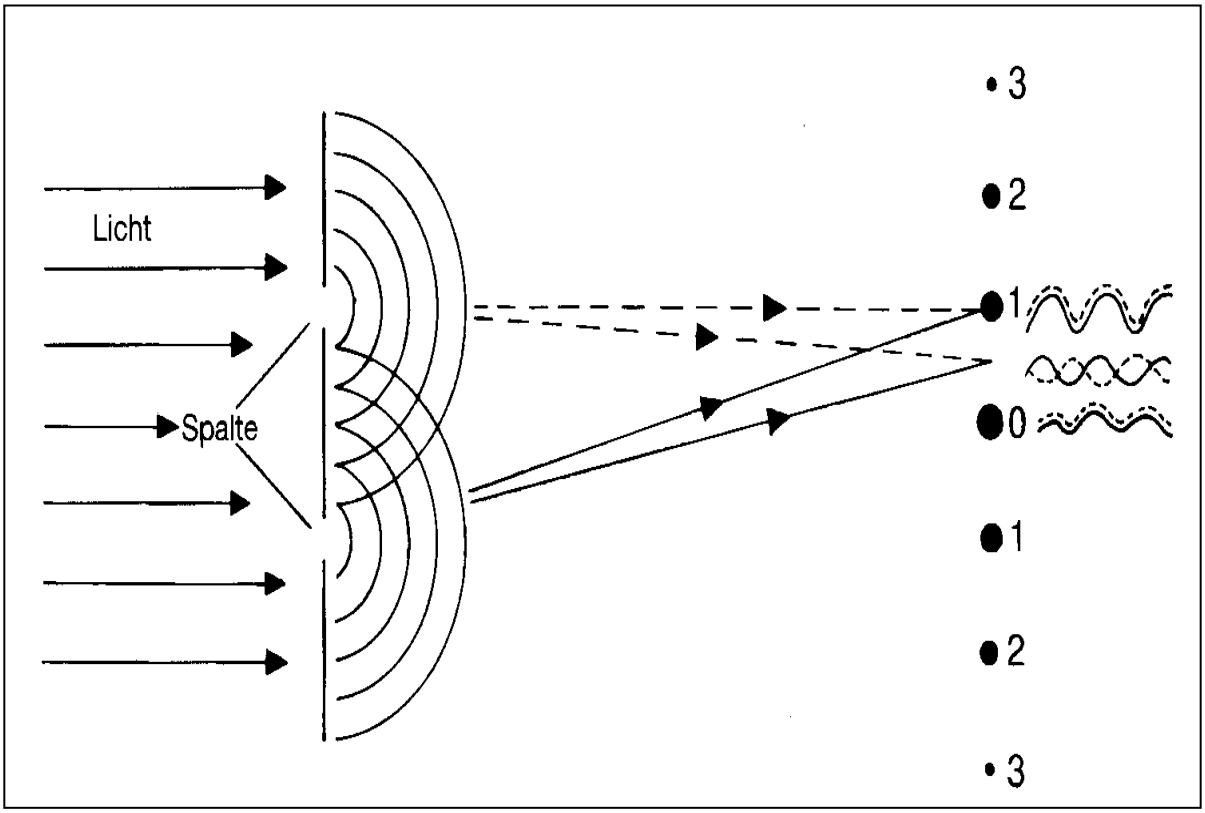
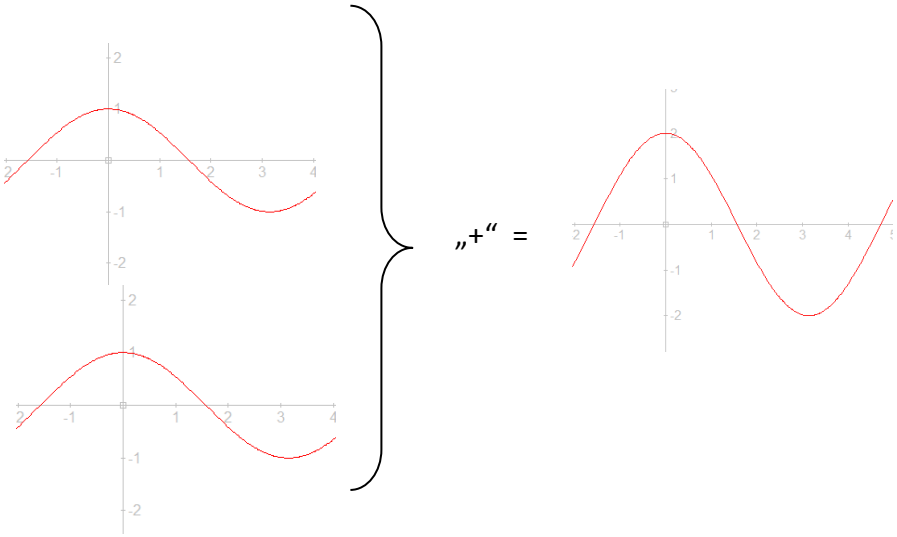


Abb. 4: Lichtbeugung und Interferenz am Doppelspalt. [4]

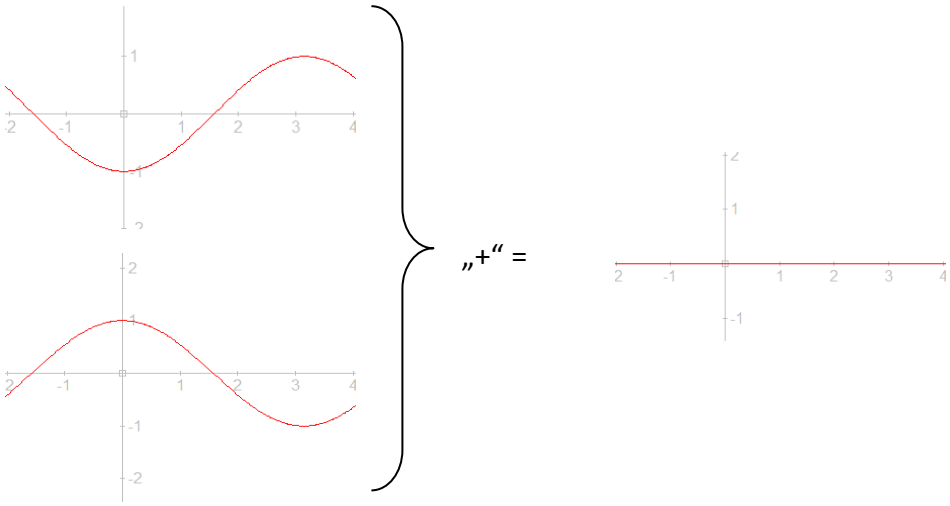
In dieser Abbildung sieht man, wie sich die beiden Elementarwellen ausbreiten und sich dabei miteinander interferieren. In diesem Fall unterscheidet man zwischen eine konstruktiver und destruktiver Interferenz. Eine konstruktive Interferenz entsteht, wenn ein Wellenberg auf einen Wellenberg, oder ein Wellental auf einen Wellental aufeinander treffen, da sie sich aufaddieren.

Bsp.: konstruktive Interferenz: wenn zwei „gleichartige“ Wellen sich phasengleich überlagern



Trifft ein Wellenberg auf einen Wellental, so entsteht eine destruktive Interferenz, da die Wellen sich gegenseitig auslöschen.

Bsp.: Destruktive Interferenz: wenn zwei Wellen sich überlagern, die gegenphasig schwingen



[5]

An der 0. Ordnung (Stelle 0 in Abb.4) legen beide Elementarwellen die gleiche Strecke zurück. Dies bedeutet dass sie „gleichphasig“ schwingen und an dieser Stelle sich eine Verstärkung der Helligkeit geschehen muss. An der Stelle 1, also die 1. Ordnung (Abb.4), beträgt der Wegunterschied eine Wellenlänge, wodurch wieder die gleiche Strecke zurückgelegt wird. Hier muss sich wieder Verstärkung stattfinden. Bei einem Wegunterschied von einer halben Wellenlänge liegen destruktive Interferenzen vor, d.h. an dieser Stelle findet Auslöschung statt, weil hier der Wegunterschied die Hälfte der Wellenlänge beträgt und dadurch die Elementarwellen „gegenphasig“ schwingen.

4.2. Verschiedene Arten von Spektren [4]

4.2.1.Das kontinuierliche Spektrum

Ein kontinuierliches Spektrum ist eine Abfolge von Spektralfarben, welches vom langwelligen Rot bis zum kurzwelligen Ultraviolett reicht. Arten von Spektren wie dieses werden von glühenden Festkörpern erzeugt, aber auch Flüssigkeiten oder Gase unter sehr hohem Druck können solche Spektren liefern.

4.2.2. Das Emissionsspektrum

Emissionsspektren werden von leuchtenden Gasen bei niedrigem Druck abgegeben. Die farbigen Linien sind Hinweise auf die enthaltenen chemischen Elemente, da jedes Element ein charakteristisches Emissionsspektrum liefert.

4.2.3.Das Absorptionsspektrum

Wird Licht eines kontinuierlichen Spektrums durch ein kühleres Gas geschickt, so absorbieren die dort enthaltenen Elemente genau die Wellenlänge, die sie im Emissionsspektrum selbst aussenden würden. Es entstehen dadurch im Absorptionsspektrum dunkle Streifen.

5. Spektroskopie mit dem DADOS-Spektrographen

5.1. Gerätebeschreibung

Das Wort DADOS (los dados) stammt vom Spanischen und bedeutet übersetzt die Würfel. Wie dieses Wort schon beschreibt, besteht der DADOS-Spektrograph aus zwei Würfeln, wobei jeweils beide eigene Funktionen besitzen.

Abb. 5: DADOS mit zwei Würfeln an einer Canon EOS 450D Kamera [6]

Am Würfel 1 befindet sich der 2'' - Steckanschluss zum Ansetzen des DADOS an ein Teleskop. Dort kann man zusätzlich ein Nachführokular einstecken, welches einen Blick auf die drei Spalte ermöglicht, die sich im Inneren des Würfels befinden. Auf der anderen Seite, gegenüber dem Nachführokular befindet sich die Spaltumfeld-Beleuchtung mit roter LED. Dieses ist bei der Orientierung am Nachthimmel sehr nützlich. Im zweiten Würfel erzeugt das Gitter ein Spektrum. Außerdem ermöglicht uns dieser Würfel mit Hilfe der Mikrometerschraube, das Spektrum zu verstellen.

5.1.1 Geräteeigenschaften [5]

<u>Würfel 1: Das Spaltplättchen und ein Spiegel</u>

Abb. 6: Würfel 1 des DADOS mit offenem Deckel [7]

Spalt:

Es ist ein Spaltplättchen, welches drei Spalte mit verschiedenen Spaltbreiten enthält: 25 µm, 35 µm und 50 µm (1 µm ist ein millionstel Meter).

Spiegel:

Setzt man oben in den Okularstutzen ein Okular oder einen Autoguider ein, kann man das zu spektroskopierende Objekt exakt auf einen der drei Spalte setzen.

Spaltbeleuchtung:

Mit einer in der Helligkeit regelbaren roten LED kann das Gesichtsfeld beleuchtet werden. Damit kann man die dunklen Spalte vor dem dunklen Himmel erkennen.

Wichtiger Hinweis:

Während der Aufnahme des Spektrums muss die Spaltbeleuchtung ausgeschaltet sein, weil sonst rötliches Streulicht über dem Spektrum liegt und die Aufnahme ruiniert. Zur Schonung der Knopfzellen-Batterien (2 Stück LR41) in dieser Beleuchtung sollte diese bei Nichtgebrauch immer ausgeschaltet sein

Würfel 2: Das Blazegitter

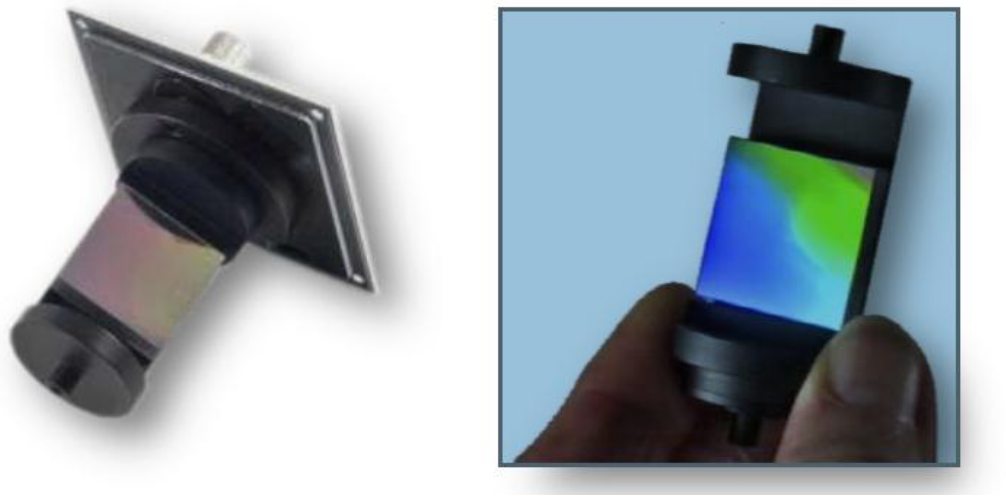


Abb.7: Das Reflexionsgitter eines DADOS [8]

Es stehen drei geblazte Reflexionsgitter vom Typ Echelette zur Verfügung:

- Gitter mit 200 Linien / Millimeter für die grobe Spektralklassifikation ca. 2,06 Å/px (Angström / Pixel) bei 5500 Å
- Gitter mit 900 L/mm für höhere spektrale Auflösung ca. 0,54 Å/px bei 5500 Å
- Gitter mit 1800 L/mm für höchste spektrale Auflösung ca. 0,30 Å/px bei 4861 Å

Für unsere Arbeit wurde das Gitter mit 1800 L/mm verwendet. Dieses Gitter hat pro Millimeter 1800 Linien und ist somit das höchstauflösende Gitter, welches wir zur Verfügung hatten. Damit ließen sich verschiedene mehrere Linien im Spektrum identifizieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein mit der Sigma 1603 CCD-Kamera aufgenommenes Spektrum des Planeten Jupiter, welches wir am 12,5‘‘ Cassegrain-Teleskop in Station 7 aufgenommen haben.

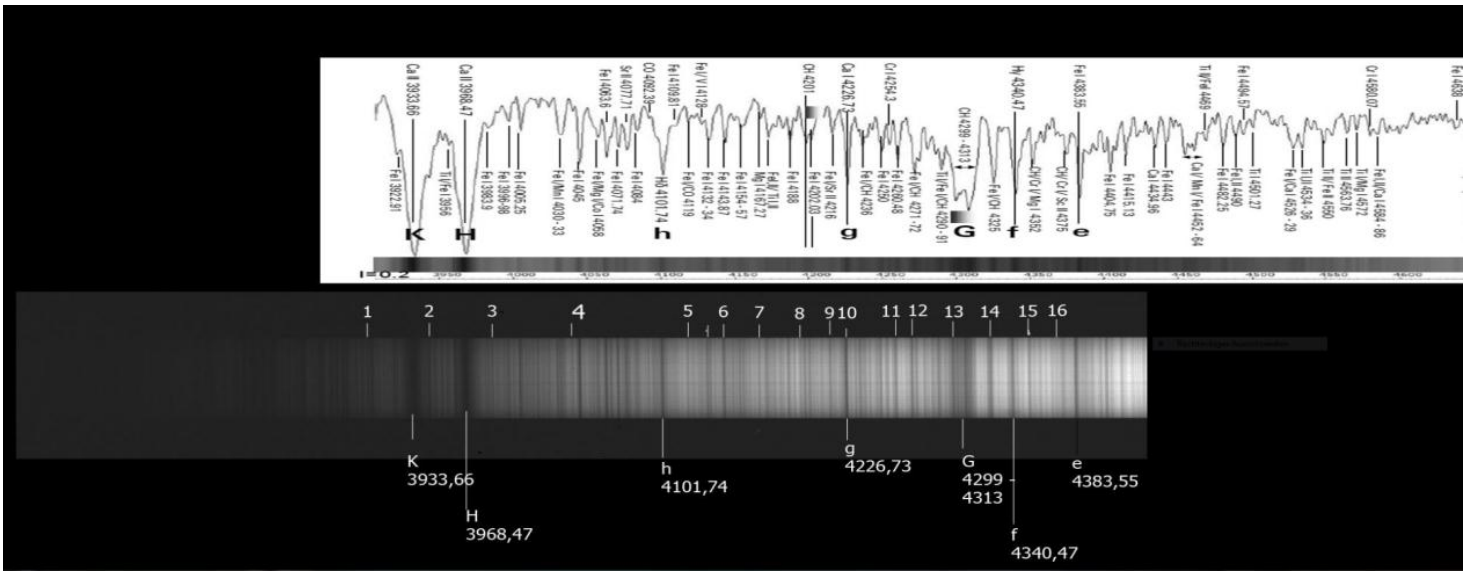


Abb. 8: Selbstbearbeitetes Jupiterspektrum mit angesetztem Spektrum aus dem Walker-Spektralatlas [9]

5.1.3. Vorteile des Blaze-Reflexionsgitters [6]

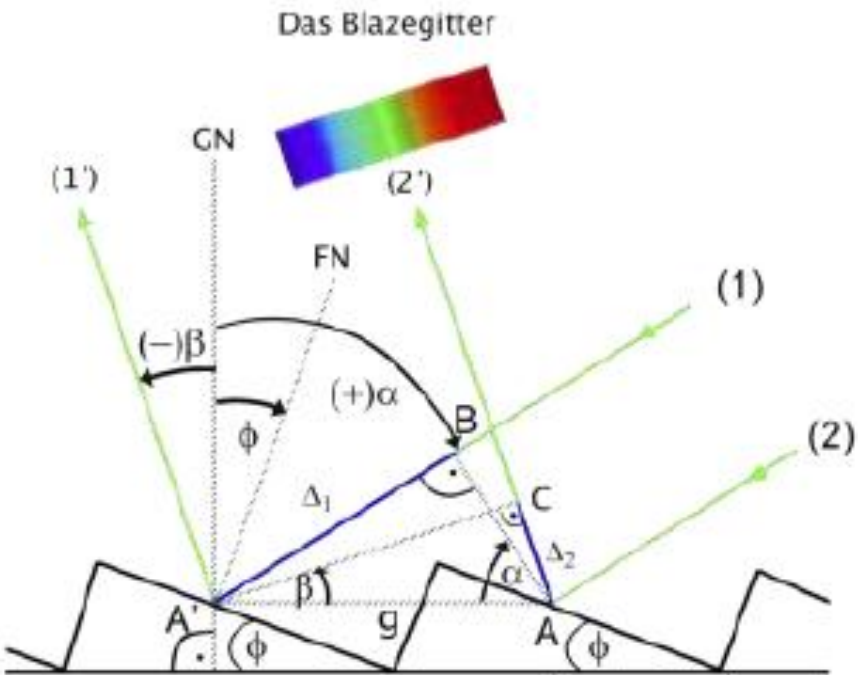


Abb. 9: Verteilung des Lichts auf einen DADOS [10]

Gitterkonstante

- Das Licht verteilt sich auf nur wenige Gitterordnungen
- Es besteht eine höchste Intensität in der 1. Gitterordnung
- Hohe Reflektion der Gitterfurchen
- Das Maximum der Interferenz 1.Ordnung fällt mit dem Beugungsmaximum an jeder Gitterfurche (Spaltfunktion) zusammen.

Teil 2:

Praxis und Aufbau

6. Eigene Aufbaubeschreibung der Geräte am Schülerlabor Astronomie des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal

6.1 Aufnahme von Spektren des Planeten Jupiter am 12,5“ Cassegrain in Station 7

Die nun folgenden Bilder sind Fotos von allen verwendeten Geräten für die Spektroskopie und Astrofotografie (bzw. Astrovideografie) unserer Arbeit.

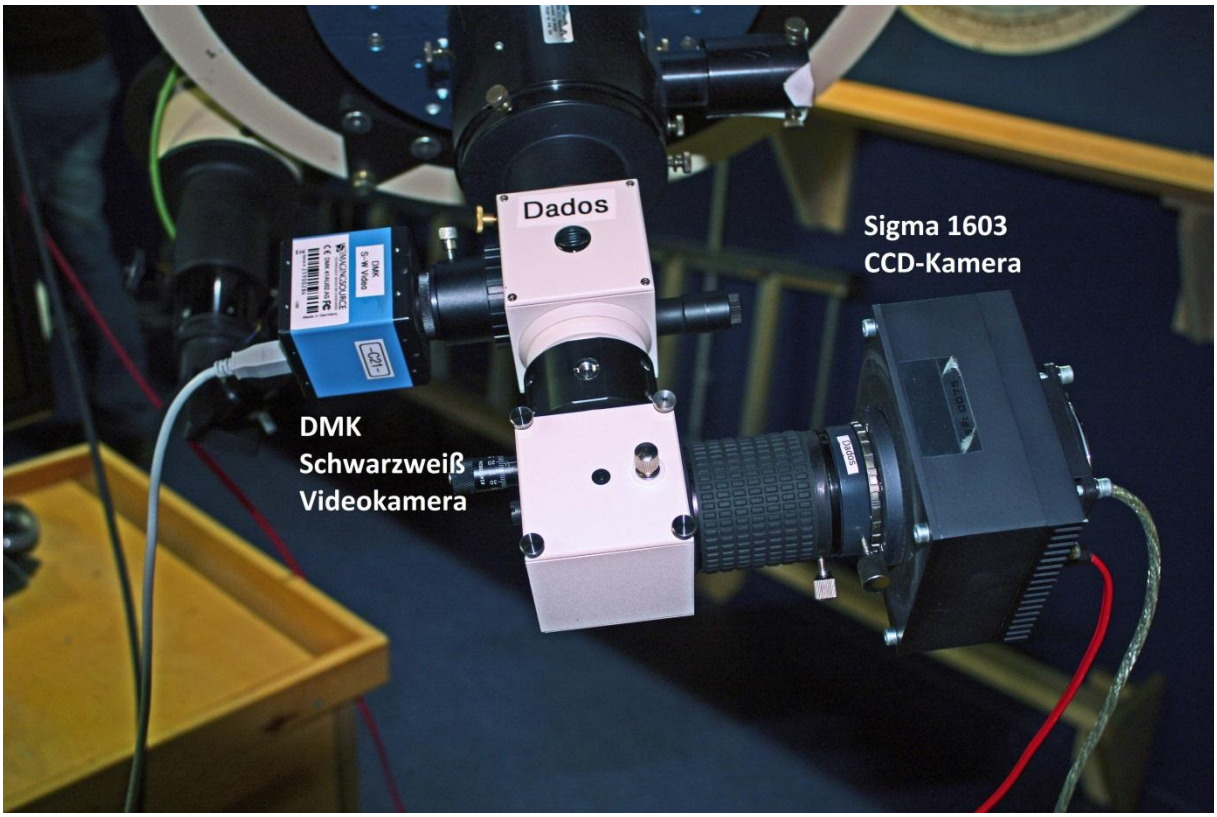


Abb. 10: DADOS Spektrograf mit angesetzter DMK Schwarzweiß Videokamera und Sigma-Kamera am 12,5“ Cassegrain

Dieses Bild zeigt, wie wir das Jupiterspektrum fotografiert haben, um es anschließend zu analysieren und somit die Rotationsdauer zu bestimmen.

Dabei sind wir wie im folgendem vorgegangen: Zunächst einmal wurden alle Geräte darauf vorbereitet, dass diese funktionsfähig waren, sodass sich bei der Praxis keine Fehler an den Geräten ergaben. Nachdem alles überprüft wurde, konnte nun die Geräte zusammengeführt werden. Anschließend wurde wie oben (Abb. 10) der DADOS an den 12,5“ Cassegrain zugeführt und schließlich noch eine DMK schwarz-weiß CCD Videokamera und eine Sigma 1603 CCD-Kamera an den DADOS befestigt. Zuerst haben wir ein Test-Spektrum der Energiesparlampe ESL Ormalight erzeugt (Abb. 11).

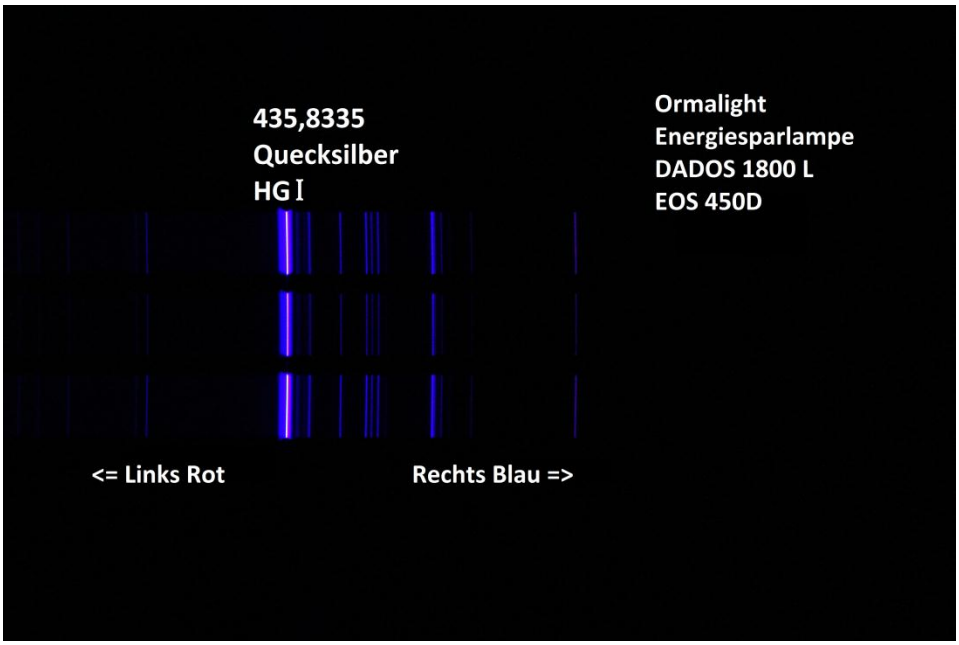


Abb. 11: Spektrum einer Energiesparlampe aufgenommen mit Canon EOS 450D

Dieses Spektrum (Abb. 11) stammt von einer Kalibrationslampe, eine Energiesparlampe der Marke Ormalight. Aufgenommen wurde dieses mit einem 1800 Linien/Millimeter Reflexionsgitter und alle anderen Spektren unserer Arbeit ebenso, da ein solches Gitter eine erhöhte Auflösung von Spektren bietet. Da wir den Planeten Jupiter mit der Sigma 1603 CCD-Kamera aufgenommen haben, erhielten wir ein schwarzweißes Spektrum. Deswegen nahmen wir zuvor das Energiesparlampenspektrum mit einer farbfähigen Canon EOS 450D Kamera (Abb. 12) auf, um uns im schwarzweißen Spektrum orientieren zu können (Abb.13).

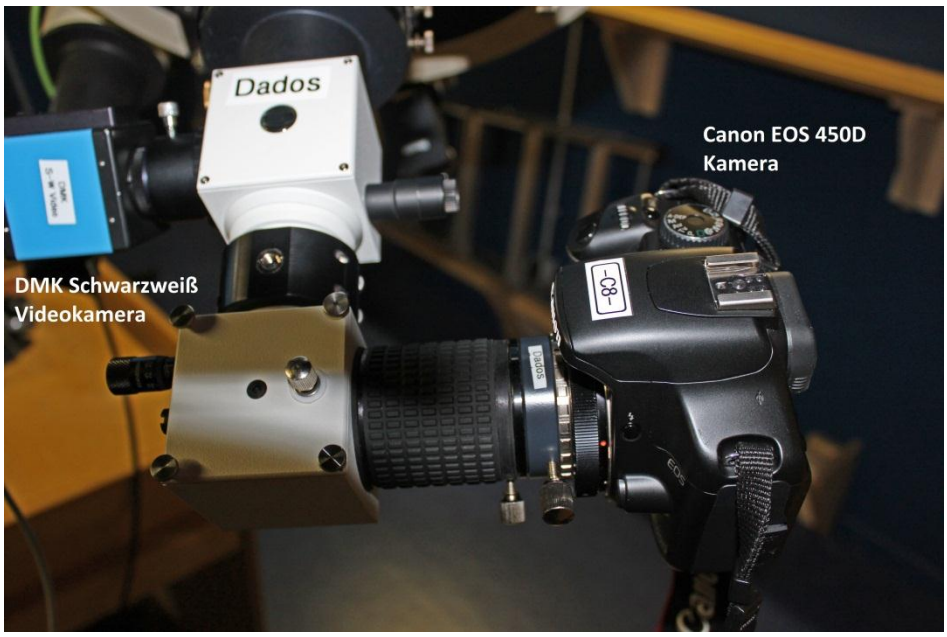


Abb. 12: DADOS Spektrograf mit angesetzter DMK 41 Schwarzweiß Videokamera und Canon EOS 450D Kamera am 12,5“ Cassegrain

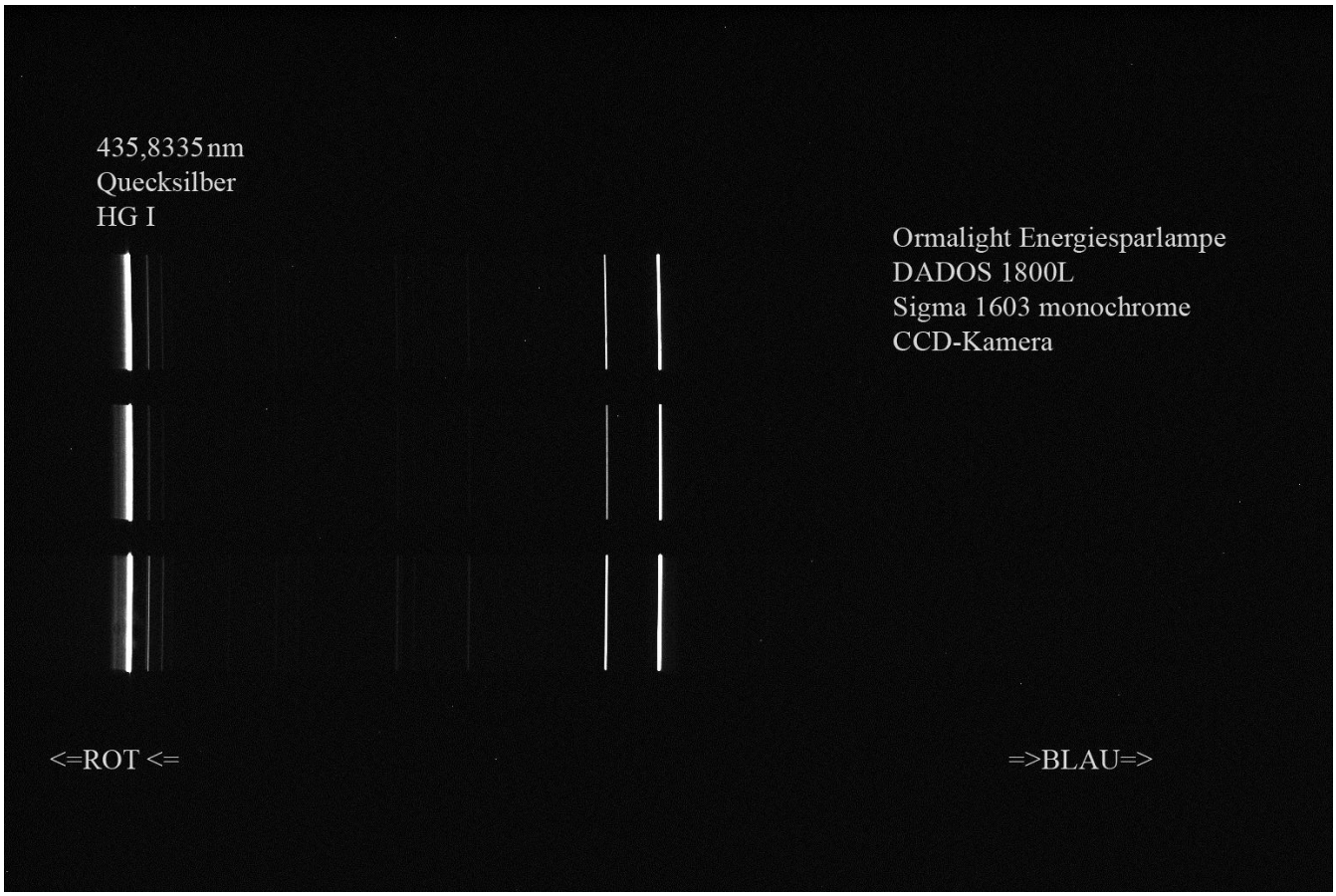


Abb. 13: schwarzweißes Energiesparlampenspektrum mit der monochromen Sigma 1603 CCD-Kamera

Abb. 14: Energiesparlampe ORMALIGHT mit Gehäuse und Steckanschluss

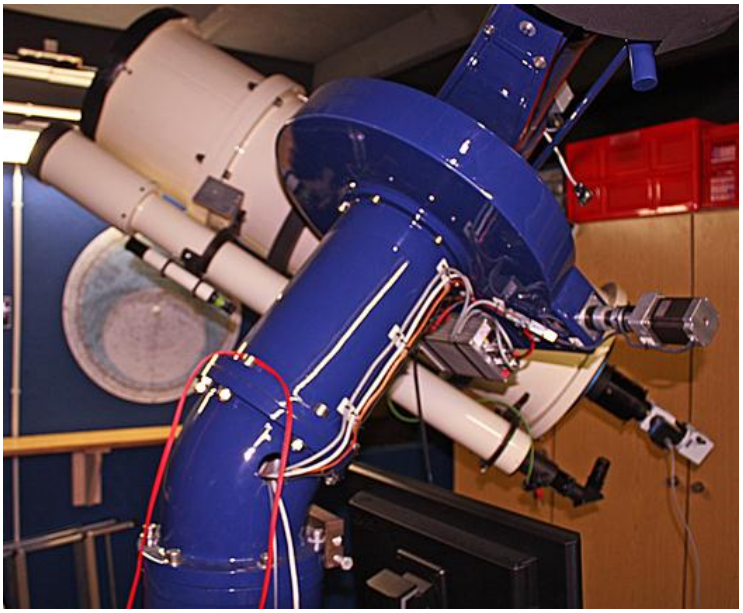


Abb. 15: Cassegrain-Teleskop

6.2 Aufnahme von Videos des Planeten Jupiter am Celestron 11 Edge HD

Die nun folgenden Bilder sind Fotos von allen verwendeten Geräten für die Spektroskopie und Astrofotografie (bzw. Astrovideografie) unserer Arbeit.

Da unsere Arbeit aus zwei Bestandteilen besteht, benötigen wir außerdem noch Spaltaufnahmen des Planeten Jupiters. Diese wurde am Celestron 11 Edge HD - Teleskop erstellt (Abb. 16)

Dieses Bild zeigt uns den Aufbau unserer Arbeit, bei der Aufnahme. Zusehen ist das Celestron 11 Edge HD - Teleskop mit angesteckter DMK Schwarzweiß Videokamera an einem Gestell montiert.

Abb. 16: Celestron 11 Edge HD mit DMK Schwarzweiß Videokamera auf einen Gestell

Der zweite Teil zur Praxis und Aufbau, sind die wichtigsten und erforderlichsten Instrumente, die wir verwendet haben und uns zu all den Ergebnissen im dritten Teil ermöglicht haben. Natürlich wurden auch Bildbearbeitungs- und andere Software verwendet, welche aber erst im dritten Teil vorgestellt werden.

Teil 3:

Analyse und Ergebnisse

7. Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit des Planeten Jupiter mittels Spektroskopie:

7.1 Der Dopplereffekt [7]

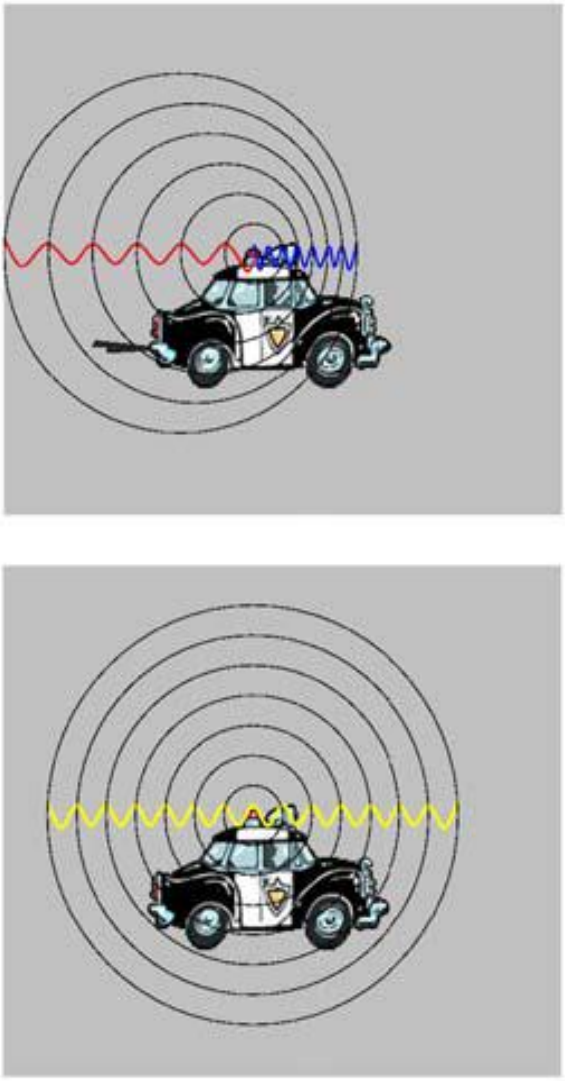


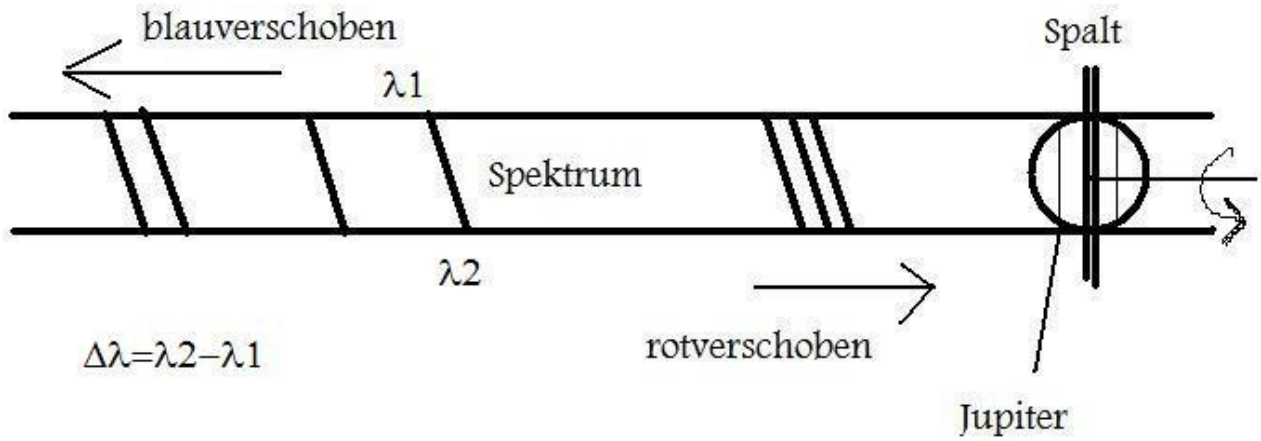
Abb. 17: Dopplereffekt [11]

Der Dopplereffekt ermöglicht uns, durch die Verschiebung der Spektrallinien die Rotationsgeschwindigkeit zu ermitteln.

Alle Wellen bewegen sich mit einer bestimmten Wellenlänge durch das entsprechende Medium vom Zentrum weg. Eine Welle kann skizzenhaft durch eine periodische Kurve angezeigt werden.

Falls sich der Beobachter nun jedoch nicht im Stillstand, sondern in einer Bewegung befindet, kommt der Dopplereffekt zu Stande.

Nähert sich ein Objekt dem Betrachter, so erscheint die von diesem Objekt ausgehenden Wellen diesem Betrachter in einer höheren Frequenz und umgekehrt, da die Zeit, welche die Welle für ihre Ausbreitung benötigt, nun entweder gestreckt oder gestaucht wird. Im Alltag wird dieser Effekt besonders bei dem Schall von Einsatzfahrzeugen deutlich: Wenn dieses sich auf einen zu bewegt, erscheint der Ton dem Betrachter höher, daher die Wellenlänge kürzer (gestaucht), während es sich beim Entfernen tiefer, daher länger (gestreckt) anhört. Dieser Dopplereffekt tritt ebenso beim Licht auf: Die sich schneller auf einen zu bewegenden Wellen erscheinen uns in einer höheren Frequenz als jene, welche sich langsamer auf uns zu bewegen. Dadurch verschieben sich die Spektrallinien in auf den beiden Seiten, wozu der Spalt des Spektrographen im Optimalfall über dem Äquator, daher vertikal zur Planetenachse liegen sollte. Die sich von uns weg drehende Seite des Planeten sendet das Licht nun in einer niedrigeren Wellenlänge als die sich uns zu drehenden Seite.



Zur Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit müssen nun mehrere Linien Identifiziert

und jeweils die Wellenlängendifferenz Delta Lambda bestimmt werden. Dann kann man mittels der Formel

$$\Delta\lambda/\lambda = 2v / c$$

bzw.:

$$\Delta\lambda/\lambda \ * c / 2 = v$$

die Rotationsgeschwindigkeit bestimmen.[8]

7.2 Auswertung des Jupiterspektrums und Messung der Rotationsgeschwindigkeit

Das Licht des Planeten Jupiters ist größtenteils reflektiertes Sonnenlicht.

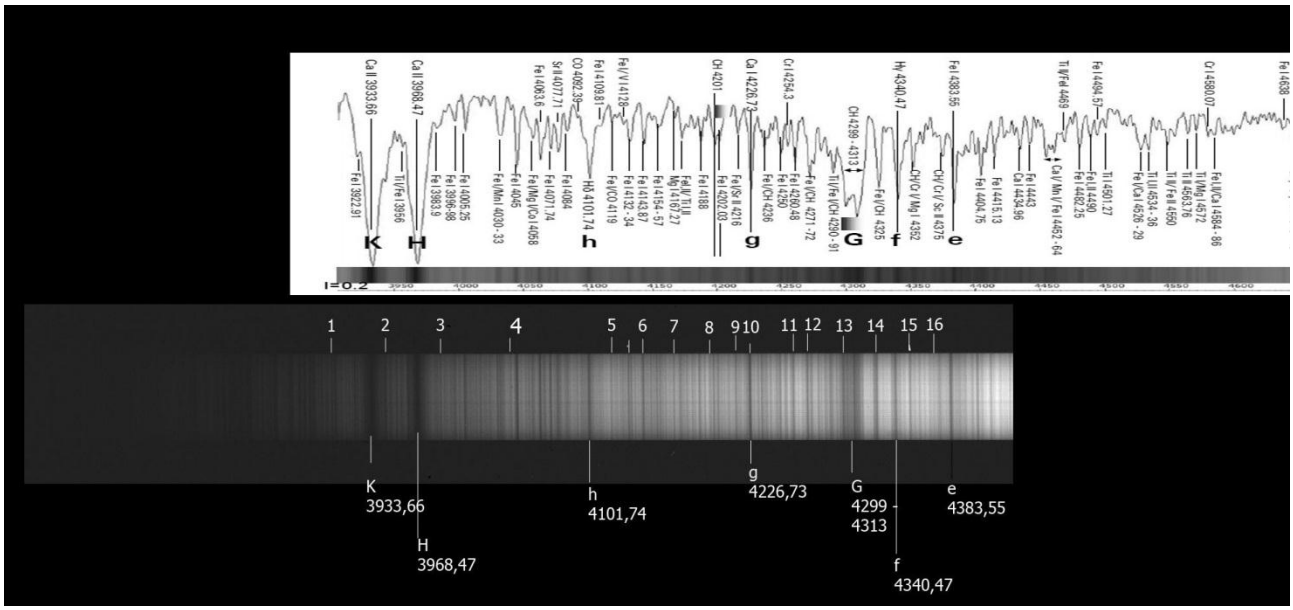


Abb. 18: Selbstbearbeitetes Jupiterspektrum mit angesetztem Spektrum aus dem Walker-Spektralatlas. Obere Reihe: Sonnenspektrum als Referenz zur Identifizierung der Spektrallinien [1]. Untere Reihe: Unser aufgenommenes Spektrum von Jupiter. Links im Bild erkennt man die beiden markanten Calcium Linien Ca II – Linien H und K

Zu sehen ist unten unser aufgenommenes Spektrum und oben ein entsprechendes Spektrum (Sonne) aus dem Spektralatlas von Walker. Diese wurden zur Identifizierung der einzelnen Absorptionslinien übereinander gelegt und die wichtigsten Linien in unserem Spektrum markiert. Die Zahlen über unserem Spektrum zeigen diejenigen Linien an, mit welchen wir zur Rotationsgeschwindigkeitsmessung gerechnet haben. Dazu haben wir das Bild um den Faktor 10 gestreckt, um eine bessere rechnerische Auflösung zu erhalten. Anschließend wurde die x-Koordinate einer jeden Linie jeweils oben und unten gemessen, um so die Neigung festzustellen. Dabei gilt es zu beachten, dass 10 Pixel nunmehr einen Pixel in der Originalgröße ausmachen. Mittels MaxIm DL kann die x-Koordinate einer Linie (oben und unten) genau bestimmt werden:

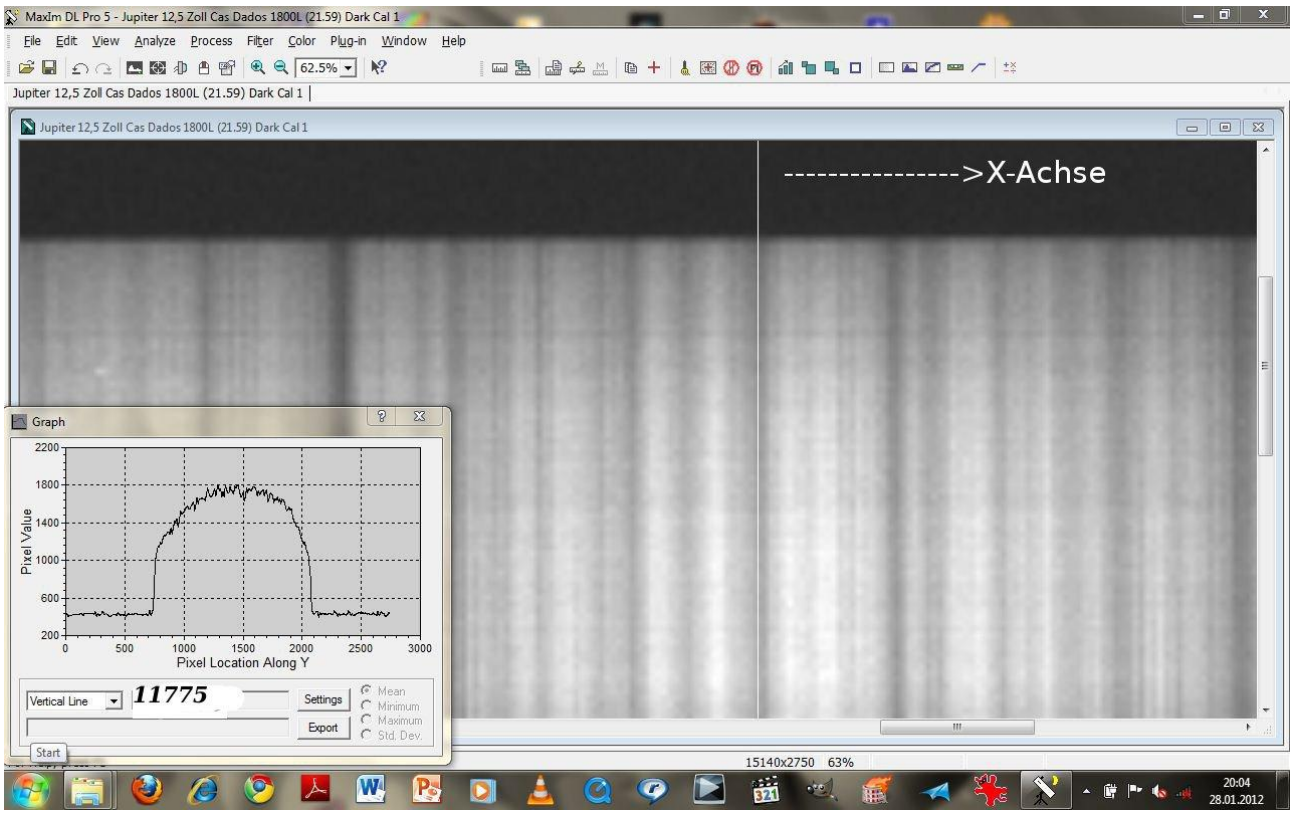


Abb. 19: Bearbeitung eines Spektrums mittels MaxIm DL

Die vertikale Linie wurde in diesem Beispiel oben in die Mitte der Linie Fe I (4260,48 A) gelegt. Nun lässt sich unten links die x-Koordinate ablesen (hier: 11775).

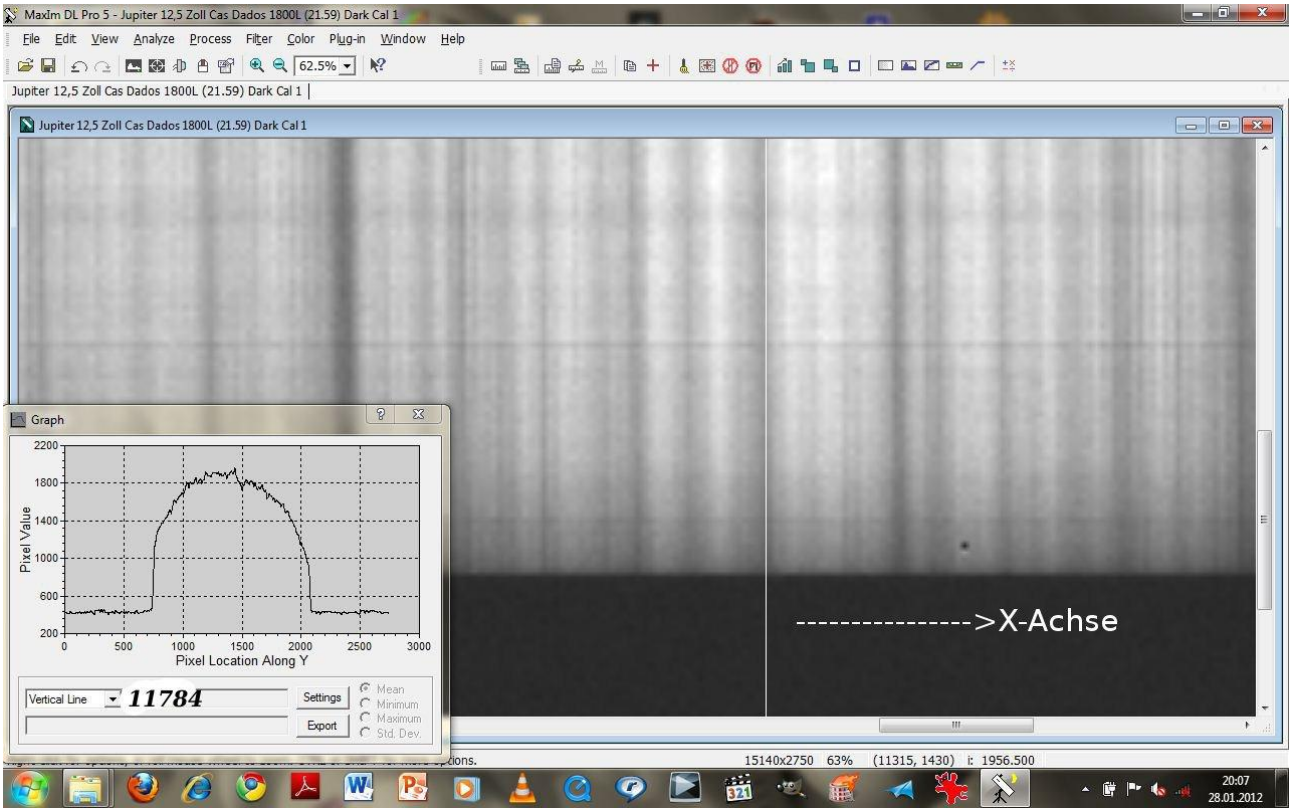


Abb. 20: Bearbeitung eines Spektrums mittels MaxIm DL

Nun wird die Linie unten vermessen: Hier ergibt sich ein Pixelwert von 11784, die Pixeldifferenz beträgt somit 13 Pixel, was in der Originalgröße 1,3 Pixel ergeben würde. Der Abbildungsmaßstab M kann nun errechnet werden, indem man diese Pixeldifferenz durch die Wellenlängendifferenz teilt. Dazu kann man zwei eindeutig identifizierte Linien benutzen, bei welchen man die Differenz des Ångström schon kennt (siehe Spektralatlas), und nun nur noch die Pixeldifferenz zu messen ist. Wir benutzten zu diesem Zweck die Ca II K und Ca II H Linien:

Spektralline	l/[A]	x [Px]	Abb.-Maßstab M [Px/A]
Ca II K	3933,66	5330	
Ca II H	3968,47	6018	
Differenz	34,81	688	19,764435507

Zu beachten ist hierbei, dass der Abbildungsmaßstab über das gesamte Spektrum nicht gleich bleibt, jedoch liegt der Unterschied innerhalb der Messtoleranz, sodass dieser vernachlässigt werden kann.

In unserem Beispiel fehlt nun zur Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit nur noch die Wellenlänge der Linie, anhand der wir die Messung durchgeführt haben.

Die Linie wurde als Fe I Identifiziert, dessen Wellenlänge 4260,48 A beträgt.

Diese Pixeldifferenz (9 Px) muss nun noch durch den Maßstab M = 19,76 Px/A (Verhältnis Pixel zu Ångström) geteilt werden:

$$\Delta\lambda = 9 \text{ Px} / 19{,}76 \text{ Px/A} = 0{,}455 \text{ A}$$

Wir haben nun alle Werte zur Rotationsgeschwindigkeitsmessung anhand der oben genannten Formel zusammengetragen. Nun kann man die Rotationsgeschwindigkeit v von Jupiter am Äquator wie folgt berechnen:

$$v = 0{,}455 \text{ A}/ 4260{,}48 \text{ A} * 299792 \text{ km/s} * 0{,}5 = 16{,}0 \text{ km/s}$$

Der Faktor 0,5 am Ende der Formel ergibt sich aus der Tatsache, dass wir die Wellenlängendifferenz aus dem Unterschied zwischen der sich uns weg drehenden und der sich uns hin drehenden Seite des Planeten Jupiter gemessen haben, was für die gemessene Geschwindigkeit somit eine Verdopplung zur Folge hätte.

Für die genauere Berechnung haben wir die Messungen an 16 Linien über das gesamte aufgenommene Spektrum durchgeführt und einen Mittelwert errechnet. Die folgende Tabelle enthält die Auswertung der genauen Messung.

Die erste Spalte gibt die Nummer der Linie an, welche wir in unserem Spektrum ausgemessen haben (s.o.). Die Spalten 2 und 3 geben die Pixelwerte (x-Koordinaten) für das obere und untere Linienende an. Die Differenz ist in Spalte 4 angegeben. Anschließend wird in der 5. Spalte Delta Lambda $\Delta\lambda$ errechnet. Die Wellenlänge der Linien ist in der 6. Spalte angegeben. Da manche Linien nicht absolut sicher identifiziert werden konnten, werden durch ein „!“ in der 7. Spalte diejenigen Linien markiert, die eindeutig identifizierbar waren. In den Spalten 8 und 9 wird nun die Rotationsgeschwindigkeit v errechnet, wobei in Spalte 9 nur diejenigen Linien aufgeführt sind, bei welchen die Wellenlänge exakt bekannt ist. Anhand der Spalte 9 wird nun der Mittelwert errechnet, er beträgt nach unserer Messung 13,88 km/s +/- 2,33 km/s, welcher vom offiziellen Wert von 12,6 km/s um ca. 10% abweicht. Dies erscheint angesichts der Messtoleranz als hinreichend genau.

Nr. der Linie	x (Oben) [Px]	x (Unten) [Px]	x-Differenz [Px]	λ [A]	Δλ [A]	Auswahl	v [km/s]	v [km/s]
1	4703	4711	8	3900	0,4047674	*	15,5550052177	
2	5531	5538	7	3940	0,3541715	*	13,4724505851	
3	6369	6379	10	3988	0,5059593	*	19,0147067292	
4	7544	7551	7	4045	0,3541715	!	13,1227330792	13,122733
5	8983	8992	9	4119	0,4553634	!	16,5689695053	16,56897
6	9476	9484	8	4144	0,4047674	!	14,6391217058	14,639122
7	9945	9952	7	4167	0,3541715	!	12,7385301908	12,73853
8	10498	10503	5	4195	0,2529797	*	9,0382181688	
9	10894	10902	8	4216	0,4047674	!	14,3891177298	14,389118
10	11113	11122	9	4227	0,4553634	!	16,1456317465	16,145632
11	11775	11784	9	4260	0,4553634	!	16,0205599513	16,02056
12	11988	11996	8	4272	0,4047674	!	14,2004963363	14,200496
13	12532	12541	9	4300	0,4553634	*	15,8715314866	
14	13035	13042	7	4325	0,3541715	!	12,2731688567	12,273169
15	13564	13569	5	4352	0,2529797	!	8,7121611255	8,7121611
16	13923	13931	8	4365	0,4047674	*	13,8979428061	
	Durchschnitt:		7,75	Pixel				
					Geschwindigkeit (Mittelwert)			13,88 km/s +/- 2,33 km/s
					Katalogwert:			12,6 km/s

*: Die Zentralwellenlängen dieser Linien waren nur ungenau bekannt und wurden bei der Mittelwertbildung deshalb nicht berücksichtigt
!: Zur Mittelwertbildung herangezonene Spektrallinien

Abb. 21: Tabelle zur Berechnung der Rotationsdauer von Jupiter

Zur Berechnung der Rotationsperiode T muss nun der Umfang $U = 2\pi r$ von Jupiter durch die Geschwindigkeit v am Planetenrand geteilt werden, wobei der Planetenradius r am Äquator 71492 km beträgt.

$T = U/v = 2\pi r/v$

T = 8h 59m 21s.

Der „offizielle“ Wert beträgt 9h 55m 30s, bzw. 12,6 km/h. Die Differenz beträgt -56m 9s oder 1,28 km/s. [9]

8. Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit mittels Videobearbeitung [4]:

Alternativ zu der Rotationsgeschwindigkeitsermittlung über den Dopplereffekt lässt sich diese auch durch Beobachtungen mittels der planetographischen Koordinaten errechnen.

Dazu werden an einem Abend mindestens zwei hochauflösende Bilder von Jupiter aufgenommen (technisch am besten über Videostacking zu erreichen) und ein Punkt gesucht, welcher auf beiden Bildern wiederzuerkennen ist. Durch Bestimmung der Koordinaten dieses Punktes in beiden Bildern und der Messung der verstrichenen Zeit zwischen den beiden Aufnahmen lässt sich die Rotationsgeschwindigkeit nun errechnen.

Zu diesem Zweck muss zunächst das Koordinatensystem des jeweiligen Planeten ermittelt werden. In direkter Verbindung dazu steht der Positionswinkel, welcher die Verschiebung der Planetenachse gegenüber dem Beobachter angibt.

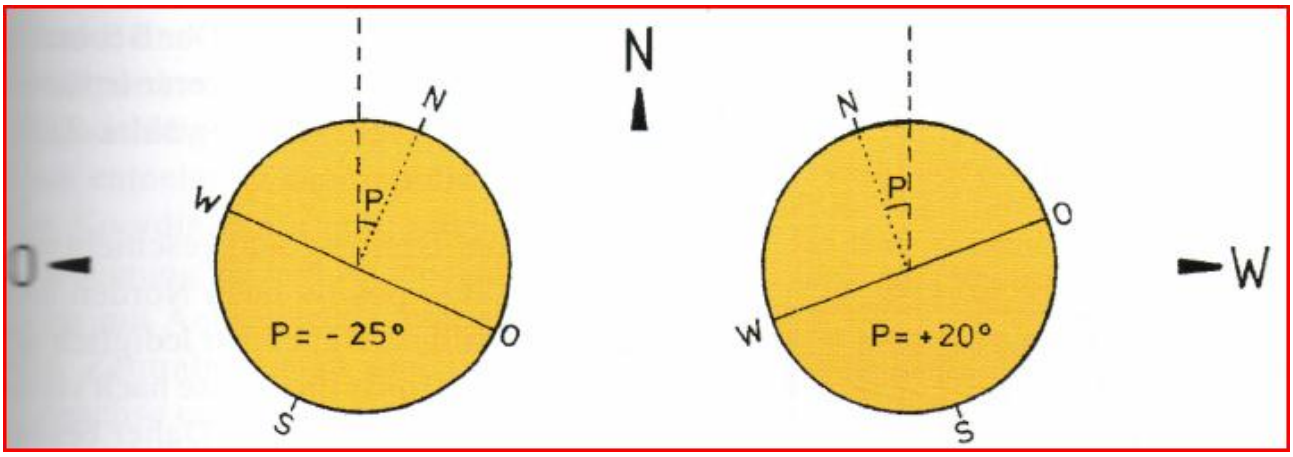


Abb. 22: (Planetograpghische Koordinaten) P = Positionswinkel [12]

Die äußeren Angaben (z.b. ⟵W) beziehen sich dabei auf die irdischen Himmelsrichtungen, welche nicht identisch mit denen der Planeten sind, welche hier direkt an den Himmelskörper gezeichnet sind.

Zur Ermittlung der Koordinaten eines Punktes auf der Planetenoberfläche werden nun Längen- und Breitengrad festgelegt:

Um Irrtümer zu vermeiden, sollte die Konvention beachtet werden, die Längengrade eines Himmelskörper entgegen dem Drehsinn festzulegen, was außerdem dazu führt, dass die Länge des Zentralmeridians im Laufe der Zeit zunimmt.

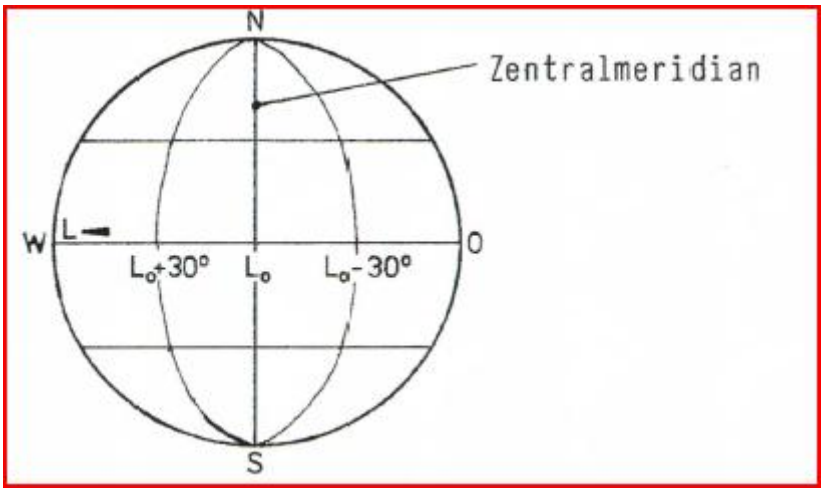


Abb. 23: Der Zentralmeridian und die Längengrade

Der Breitengrad wird wie auf der Erde im Norden positiv und im Süden negativ angegeben. Eine mögliche Neigung der Achse nach vorne oder hinten bedeutet dabei jedoch, dass der Mittelpunkt der sichtbaren Scheibe nicht 0° beträgt. B_0 entspricht hierbei der Achsenneigung und gleichzeitig dem Breitengrad des Scheibenmittelpunktes.

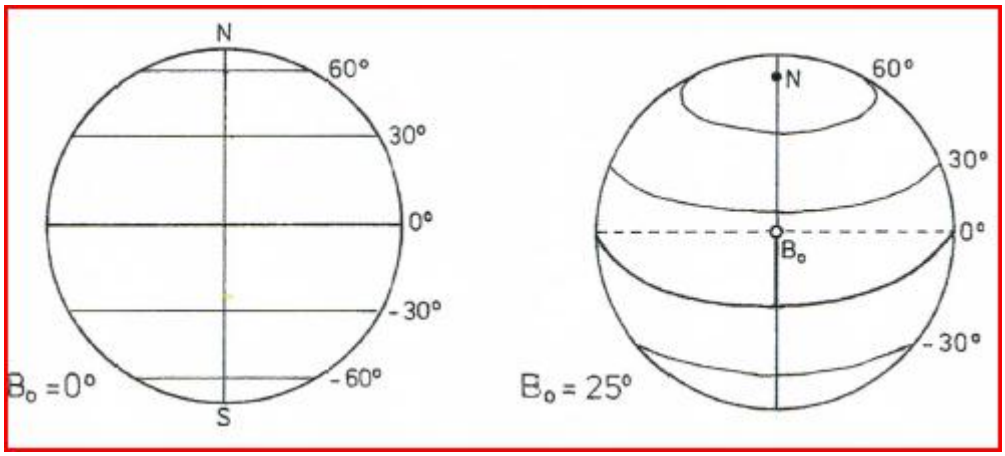


Abb. 24: Unterschied der Breitengrade durch den Neigungswinkel

Zur Bestimmung der planetographischen Koordinaten benötigt man nun den Neigungswinkel der Achse. Dieser kann durch das Programm „WinJupos“ nach Eingabe von Datum und Uhrzeit bestimmt werden, alternativ könnte man einen ein astronomisches Jahrbuch benutzen.

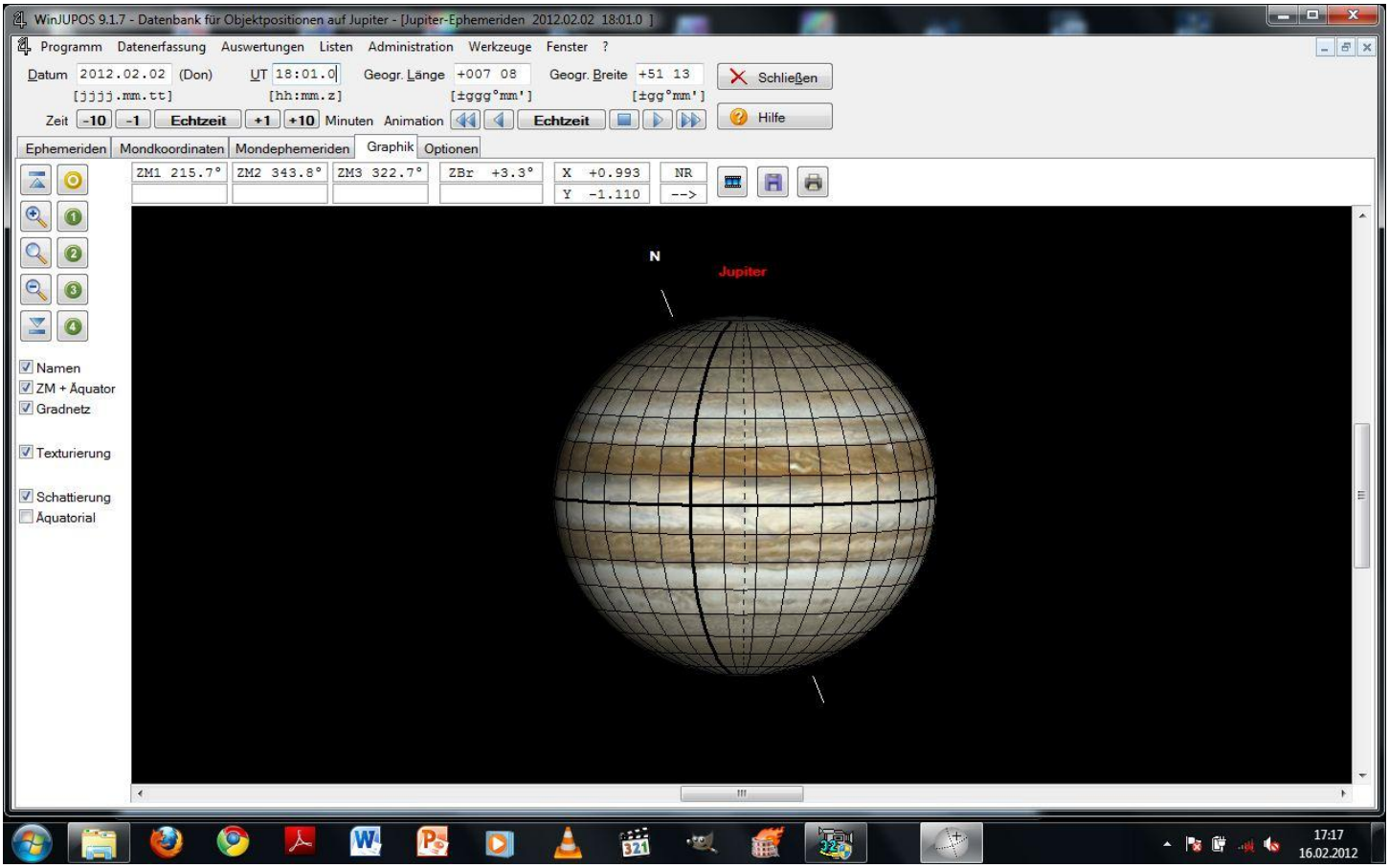


Abb. 25: Bestimmung des Neigungswinkels mittels WinJupos

In WinJupos kann man alle Planeten sowie deren Koordinatennetz mit allen Daten zu jeder beliebigen Zeit abfragen. Wir nutzen es, um den zur Berechnung benötigten Neigungswinkel

zu unserem Aufnahmezeitpunkt zu erfahren, und anschließend zur Vermessung unserer Bilder.

Anhand des des Programmes können wir nach unserer Berechnung diese ebenfalls Überprüfen.

Nun erfolgt die Berechnung des Längen- und Breitengrads:

Die noch fehlende z-Koordinate ergibt sich aus

$$z = \sqrt{r^2 - x^2 - y^2}$$

Nun können y' und z' errechnet werden, welche die Koordinaten auf unsere Aufnahme bezogen darstellen:

$$y' = z * \sin(B_0) + y * \cos(B_0)$$

$$z' = z * \cos(B_0) - y * \sin(B_0)$$

Schließlich lassen sich daraus B (Breitengrad) und L (Längengrad) wie folgt errechnen:

$$\sin(B) = y' / r$$

$$\tan(L_0 - L) = x / z'$$

Zur Vorbereitung der Messung müssen die von uns aufgenommenen Videos gestackt werden. Dies geschieht mit Hilfe des Programms „Giotto“, welches selbstständig das Stacken vornimmt.

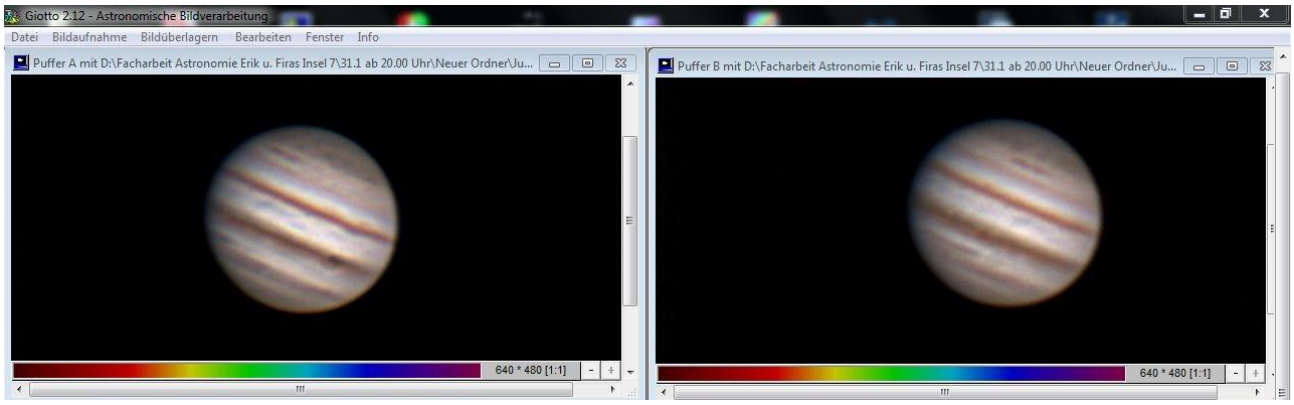


Abb. 26: Videostacking des Planeten Jupiters mittels Giotto

Anschließend müssen die Bilder noch geschärft werden, was ebenfalls mit „Giotto“ gemacht werden kann.

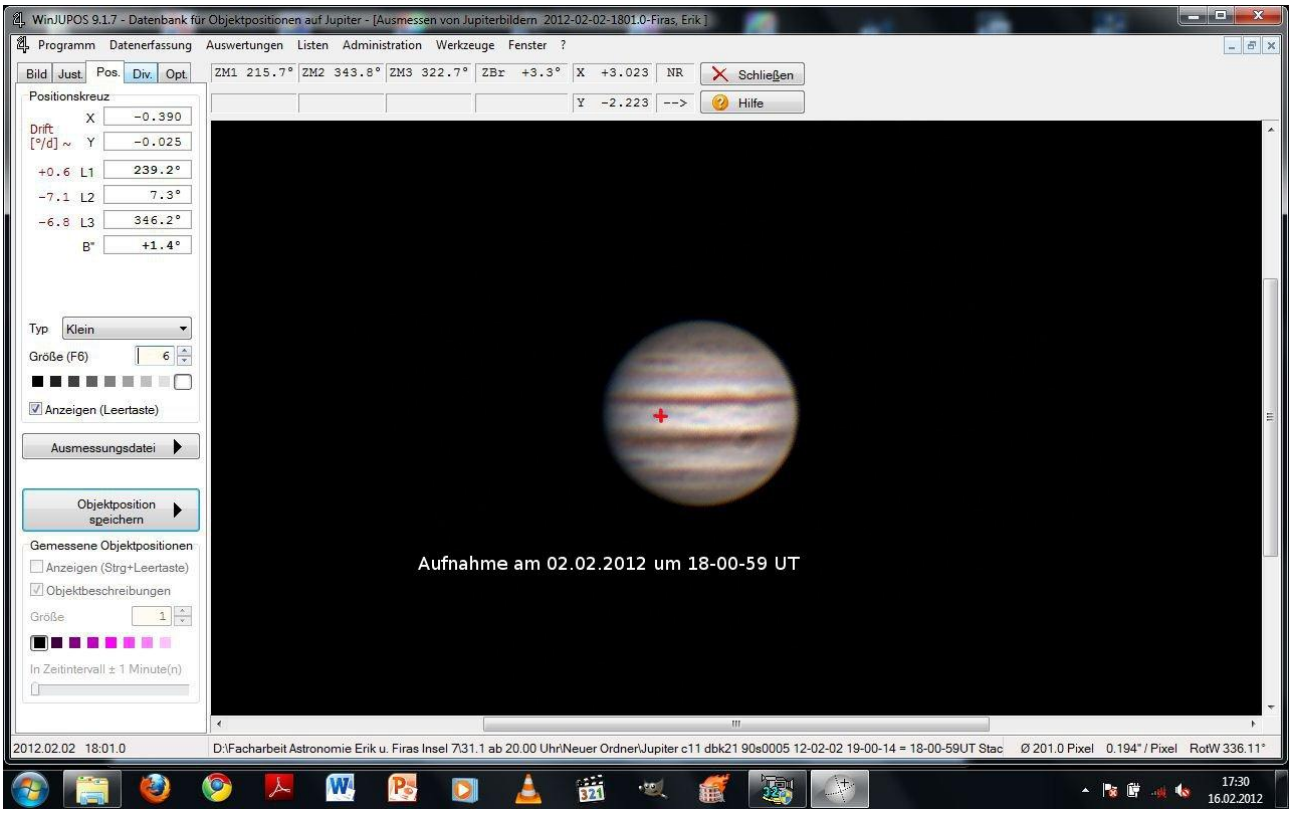


Abb. 27: Vermessung des Planeten Jupiters mittels WinJupos

Die fertigen Bilder können nun in „WinJupos“ eingelesen und vermessen werden:

Nach dem Drehen des Bildes entsprechend der Achsenneigung zum Aufnahmezeitpunkt kann nun ein Punkt markiert werden, welcher von „WinJupos“ Vermessen wird. Die (x/y) Koordinaten können nun oben links abgelesen werden (hier: x=-0,390 und y=-0,025).

Anhand dieser Werte kann nun z ermittelt werden:

$$z=\sqrt{r^2 - x^2 - y^2} = \sqrt{1-(-0{,}390)^2 - (-0{,}025)^2} = 0{,}920475$$

Anhand der oben erklärten Rechnung wird nun der Punkt auf dem Koordinatennetz ausgerechnet:

$y' = z * \sin(B_0) + y * \cos(B_0) = -0{,}12051404$

$z' = z * \cos(B_0) - y * \sin(B_0) = 0{,}9203877843$

$\sin(B_0) = y' / r = y'$

$b = \sin^{-1}(y') = -0{,}1208077$

$\tan(L_0 - L) = x / z' = L_0 - L = \tan^{-1}(x/z') = -22{,}964°$

Es ergibt sich ein Wert von -22,964°.

Die gleiche Messung und Rechnung erfolgt nun mit dem zweiten Bild:

Abb. 28: Vermessung des Planeten Jupiters mittels WinJupos

Die (x/y) Koordinaten können erneut abgelesen werden (hier: x=0,201 und y= -0,014)

Die Ermittlung von z ergibt nun:

$$z(2) = \sqrt{r^2 - x^2 - y^2} = \sqrt{1 - (0{,}201)^2 - (-0{,}014)^2} = 0{,}9796959$$

womit eine Position von 11,6° errechnet werden kann (Rechnung äquivalent mit Punkt 1).

Die Differenz zwischen -22,964° und 11,6° beträgt 34,564°, da die erste Messung östlich, die zweite westlich des Zentralmeridians gemacht wurde.

Die Aufnahmen erfolgten in einer Zeitdifferenz von 56,55 Minuten.

Daraus lässt sich nun die Rotationsdauer R wie folgt ermitteln:

R = 56,55 m / 34,564° * 360° = 589 min = 9h 49 min .

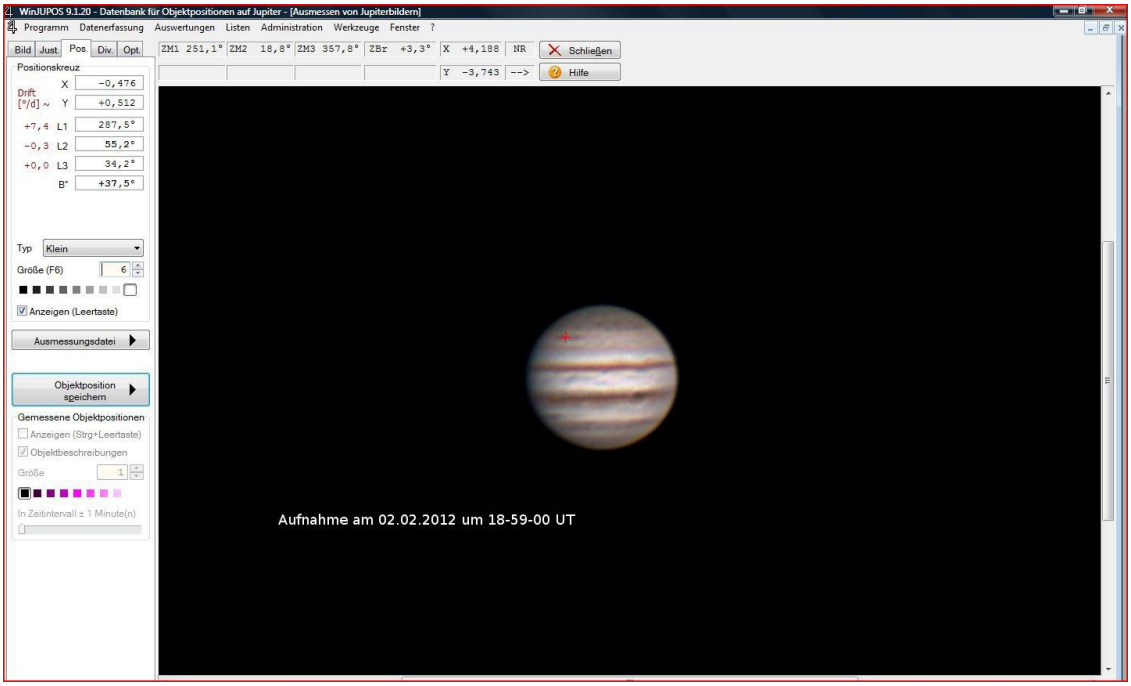
Zur Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit V muss nun der Umfang U = $2\pi r$ von Jupiter durch die Rotationsperiode T geteilt werden, wobei der Planetenradius r am Äquator 71492 km beträgt.

$V = U/T = 2\pi\, r/T$

V = 12,71 km/s

Die Prozentuale prozentuale Abweichung vom Katalogwert beträgt ca. 1%, dies erscheint als äußerst genau.

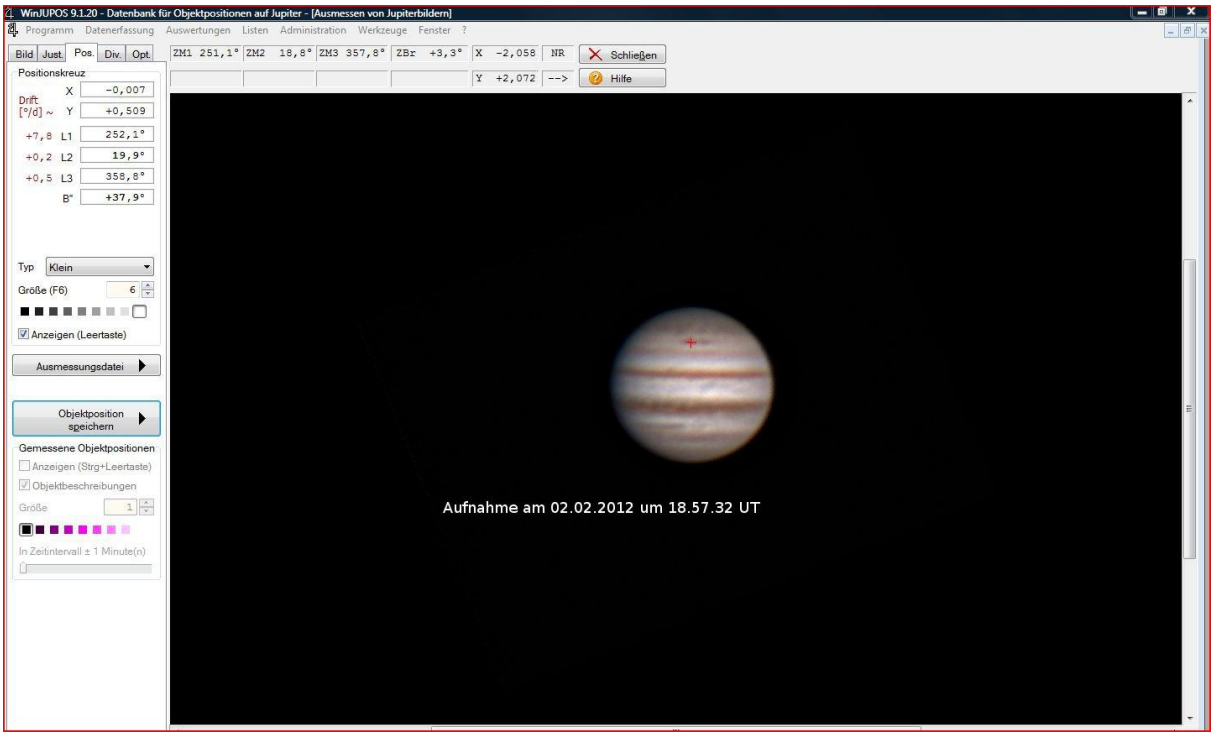
In einer zweiten Messung wird nun versucht, die Rotationsgeschwindigkeit im System II von Jupiter zu bestimmen. Da in direkter Polnähe kein Punkt mehr zu erkennen ist, welcher im zweiten Bild eindeutig wieder identifiziert werden könnte, kann die Messung lediglich an einem Punkt auf dem Breitengrad 37,5° erfolgen.



Der x-Wert ergibt -0,476; Der y-Wert ergibt 0,512

Entsprechend der oben aufgeführten Rechnung wird der Punkt bestimmt:

$$z = \sqrt{r^2 - x^2 - y^2} = \sqrt{1^2 - (-0{,}476)^2 - (0{,}512)^2} = 0{,}715$$



Der x-Wert ergibt -0,007; Der y-Wert ergibt 0,509

$$z = \sqrt{r^2 - x^2 - y^2} = \sqrt{1^2 - (-0{,}007)^2 - (0{,}509)^2} = 0{,}860$$

Entsprechend der oben gezeigten Rechnung könnte nun eine Rotationsgeschwindigkeit im System II erfolgen, jedoch wäre eine Bestimmung aufgrund des sehr langen Flecks und der Tatsache, dass wir uns lediglich zwischen den Systemen befinden, sehr ungenau und daher ohne Aussagekraft.

9. Vergleich der Methoden: Spektroskopie oder Videographie?

Bei einem Vergleich wird schnell sichtbar, dass in unserem Beispiel die Videografie das deutlich genauere Ergebnis liefert.

Jedoch muss man auch bedenken, dass Jupiter als Planet von der Erde aus gut Fotografiert, bzw. leicht mittels Videografie ein gut aufgelöstes Bild erstellt werden kann. Dies ist bei weiter entfernten Objekten nicht mehr der Fall, womit diese Methode von der Entfernung abhängig ist.

Die Spektroskopie wiederum ist jedoch von der Rotationsgeschwindigkeit abhängig – wenn diese zu gering ist, kann unter Umständen gar keine Spektrallinienverschiebung mehr festgestellt werden. Dennoch ist für weit entfernte Objekte die Spektroskopie die einzige noch funktionierende Methode, da selbst in den sehr hoch aufgelösten Bildern die Objekte teils nur noch als Punkte wahr zu nehmen sind, wodurch eine Auswertung unmöglich wird.

Die Videografie hängt außerdem stark davon ab, dass man Punkte / Flecken auf der Objektoberfläche eindeutig Markieren und im zweiten Bild wiederfinden kann. Hier können leicht Ungenauigkeiten auftreten (vgl. unsere Messung System II).

Jupiter ist aufgrund seiner Größe, Nähe und der schnellen Rotationsgeschwindigkeit mit beiden Methoden gut zu untersuchen, ebenso verhält es sich mit Saturn.

Insgesamt würden wir die Videographie als genauere Methode innerhalb des Sonnensystems für alle Planeten empfehlen, während bei weiter entfernten Objekten die Spektroskopie die bessere Wahl wäre.

10. Danksagung

Herzlich bedanken möchten wir uns bei allen, welche uns bei der Erstellung der Arbeit unterstützt haben. Dazu gehören insbesondere Herr Koch, welcher uns sowohl bei der Aufnahme der Spektren und der Videos als auch bei der anschließenden Auswertung und der Schreibphase unterstützt hat, sowie Herr Winkhaus, welcher nicht zuletzt durch die Bereitstellung der technischen Möglichkeiten wie auch mit Herr Koch in den Wochen- / Ferienkursen uns die nötigen Kenntnisse überhaupt erst vermittelt hat. In diesem Zusammenhang sei auch Herr Pollmann gedankt, welcher bei den Kursen ebenfalls einen wichtigen Anteil hatte. Außerdem danken wir auch all jenen, welche uns durch viele wichtige Kleinigkeiten immer wieder unterstützt haben. Danke sehr!

11. Anhang

Texte und Bilder sind in der Materialien CD der Facharbeit zu finden.

Literaturverzeichnis

Texte:

Teil 1: Theorie zur Astrografie und Spektroskopie:

[1] Allgemeine Informationen über Jupiter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(Planet)

[2] Was ist Astrofotografie/Astrovideografie? :

http://de.wikipedia.org/wiki/Astrofotografie

[3] Was ist Sternspektroskopie? :

http://de.wikipedia.org/wiki/Spektroskopie

[4] Verschiedene Arten von Spektren:

http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/optisch.htm

[5] Geräteeigenschaften:

DADOS Tutorial 3.0 von Bernd Koch

[6] Vorteile des Blaze-Reflexionsgitters:

DADOS Tutorial 3.0 von Bernd Koch

Teil 1: Theorie zur Astrografie und Spektroskopie:

Teil 3: Analyse und Ergebnisse:

[7] Besondere Lernleistung „Sternspektroskopie“ von Kevin Prast, Seite 22

[8] Besondere Lernleistung „Sternspektroskopie“ von Kevin Prast, Seite 25-27

[9] http://www.astronomie.de/das-sonnensystem/planeten-und-monde/der-jupiter/grunddaten/

Bilder:

Teil 1: Theorie zur Astrografie und Spektroskopie:

[1] Abb.1: Jupiter mit rote Fleck:

http://cdn1.spiegel.de/images/image-69658-videopanoplayer-abcd.jpg

[2] Abb. 2: DMK CCD Videokamera:

http://www.aokswiss.ch/d/ccd/imagingsource/dk/bilder_allgemein/dmk31_gross.gif

[3] Abb. 3: Was ist Licht und wie Zerlegen wir es? Michael Winkaus Material CD

[4] Abb. 4: Was ist Licht und wie Zerlegen wir es? Michael Winkaus Material CD

[5] Selbsterstelltes Diagramm mittels der Software „DynaGeo“

[6] Abb. 5: DADOS Tutorial 3.0 von Bernd Koch

[7] Abb. 6: DADOS Tutorial 3.0 von Bernd Koch

[8] Abb. 7: DADOS Tutorial 3.0 von Bernd Koch

[9] Abb. 8: Richard Walker Spektralatlas:

http://www.ursusmajor.ch/downloads/spektralatlas-2_0-deutsch.pdf

[10] Abb. 9: DADOS Tutorial 3.0 von Bernd Koch

Teil 3: Analyse und Ergebnisse:

[11] Abb. 17: Besondere Lernleistung „Sternspektroskopie“ von Kevin Prast, Seite 22

[12] Abb. 22: Erik Wischnewski, Astronomie in Theorie und Praxis (Selbstverlag, 5. Auflage)