

Aus der Reihe

Astronomie

Astronomical Bulletin Wischnewski

No. 18: Jupitermond Europa bedeckt Mond Io

Bedeckung des Jupitermondes Io durch den Mond Europa

Abstract Jupiter umläuft die Sonne in 11.86 Jahren. Dabei überquert er zweimal die Erdbahnebene, also etwa alle 6 Jahre. In den Monaten davor und danach sehen wir die Bahnen der vier großen Jupitermonde von der Kante. Deshalb kommt es in dieser Zeit zu gegenseitigen Bedeckungen und Verfinsterungen der Jupitermonde.

Am 15.02.2015 wurde die Bedeckung von Io durch Europa mit einem Apochromat 5" f/7.5 und einer Canon EOS 60Da aufgenommen. Die Gesamthelligkeit von Europa und Io wurde mit der von Ganymed verglichen. Aus der Lichtkurve konnte mittels Gaußfit die Mitte der Bedeckung für J.D. 2457068.50223 \pm 0.00005 bestimmt werden. Die Amplitude betrug 0.49 \pm 0.03 mag.

1	Beobachtungsparameter	2
2	Konstellation	2
3	Messung	3
4	Lichtkurve.....	3
5	Auswertung	5

Eine ausführliche Behandlung der Planeten, speziell auch Jupiter und seine Monde, finden Sie im Buch *>Astronomie in Theorie und Praxis<*, 6. Auflage (ISBN 978-3-00-040524-2).

Dr. Erik Wischnewski

Heinrich-Heine-Weg 13 • D-24568 Kaltenkirchen

E-Mail: proab@t-online.de • Internet: <http://www.astronomie-buch.de>

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Rechte vorbehalten.

© Dr. Erik Wischnewski, Kaltenkirchen 2015

Version: 02.03.2015 12:26:33

1 Beobachtungsparameter

Beobachter:	Dr. Erik Wischnewski
Beobachtungsort:	24568 Kaltenkirchen, Germany
	Länge: $-9^{\circ} 56' 10.9'' = -9.9363611^{\circ}$ (WGS84)
	Breite: $+53^{\circ} 49' 52.1'' = +53.8311389^{\circ}$
	Höhe: 34 m
Beobachtungsdatum:	15.02.2015
Objekt:	Europa bedeckt Io
Art des Objektes:	Jupitermonde
Instrument:	Triple-ED-Apochromat
Öffnung:	127 mm
Brennweite:	952.5 mm
Kamera:	Canon EOS 60Da
Empfindlichkeit:	ISO 800
Belichtungszeit:	0.05 s
Bildsequenz:	10 s weit vor der Bedeckung 5 s kurz vor der Bedeckung beginnend
Photometrie:	MuniWin 1.2.32 Blendenmethode Grünkanal (G1+G2)/2 Gaußfit

2 Konstellation

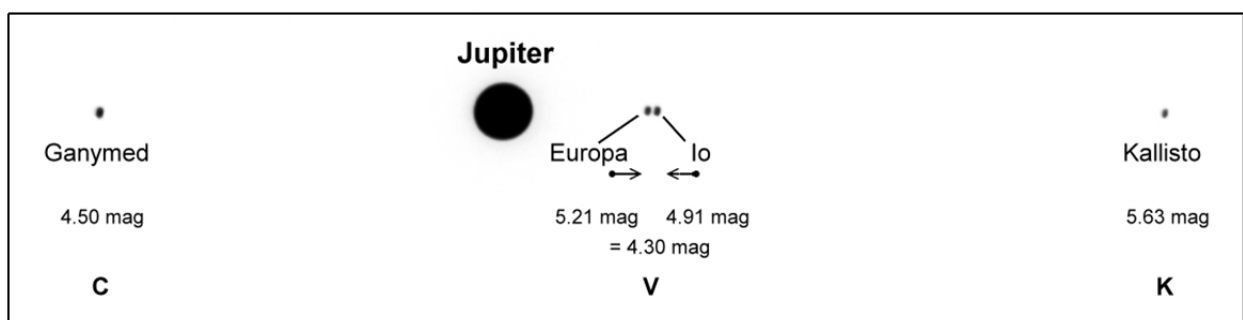


Abbildung 1: Konstellation der vier großen Jupitermonde am 15.02.2015 eine halbe Stunde vor der Bedeckung. Europa entfernt sich vom Jupiter, Io läuft auf ihn zu.

Die Helligkeiten wurden mit Hilfe der Software *Horizons* von JPL auf Basis der Flächenhelligkeit, Durchmesser, Phasenwinkel und Entfernungen der Monde berechnet.

3 Messung

Die gesamte Serie wurde mit *MuniWin* nach der Blendenmethode vermessen. Dabei wurde die Blende so groß gewählt, dass die beiden Monde Europa und Io gemeinsam erfasst wurden. Ausgewertet wurde der Grünkanal $(G1+G2)/2$. Die so ermittelte Helligkeit ist die Summe aus beiden Monden (4.30 mag). Das Programm *Occult* von David Herald gibt eine Amplitude von 0.493 mag – entsprechend einer Reduzierung der Helligkeit von 63.5% – an. Das bedeutet, dass während der Bedeckung bis zu 61.5% durch Europa bedeckt werden. Die minimale Gesamthelligkeit beträgt somit 4.79 mag.

Gemessen wurde die Differenz zwischen V („variable“ = Europa+Io) und C („comparison“ = Ganymed). Das Ergebnis $V-C$ ist die auszuwertende Lichtkurve. Ferner wurde die Differenz zwischen C und K („check“ = Kallisto) bestimmt. Das Ergebnis $C-K$ sollte theoretisch konstant sein und ist insofern ein Maß für die Genauigkeit und die atmosphärischen Bedingungen.

Erwartet wird also eine Grundhelligkeit $V-C = -0.20$ mag und ein Minimum $V-C = 0.29$ mag (Amplitude = 0.49 mag). Als mittlere Vergleichshelligkeit wird $C-K = -1.13$ mag erwartet.

Für die Messblende wurde ein Radius von knapp 10 Pixeln gewählt, der Hintergrund wurde in einem Ring von 20 bis 30 Pixel Radius gemessen. Damit ist gewährleistet, dass sowohl Europa und Io immer in einem Messfeld liegen, als auch, dass sich bei der Hintergrundmessung keine anderen Objekte im Messfeld befinden.

4 Lichtkurve

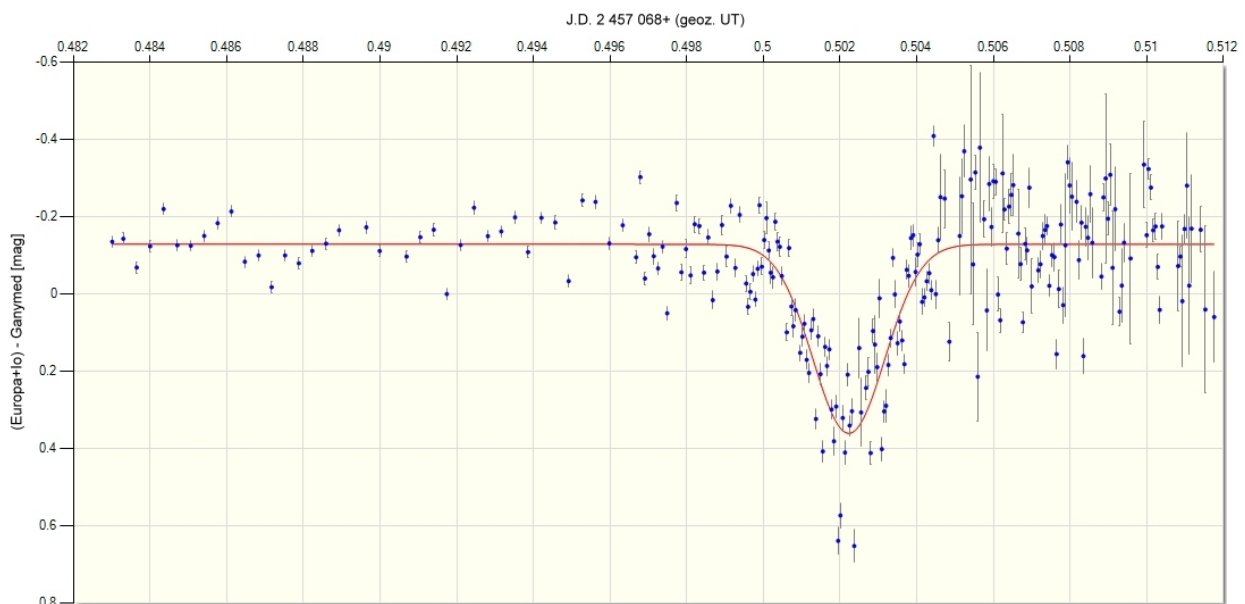


Abbildung 2: Die Lichtkurve stellt die Differenzhelligkeit von (Europa + Io) zu Ganymed dar ($V-C$). Zur Ermittlung des Minimumzeitpunktes wurde ein Gaußfit durchgeführt (rote Kurve). Auffallend ist die zunehmende Streuung der Messpunkte und Länge der Fehlerbalken. Die Ursache liegt in der ansteigenden (ungleichmäßigen) Verdichtung von Hochnebel und Zirruswolken (→ Abbildung 4).

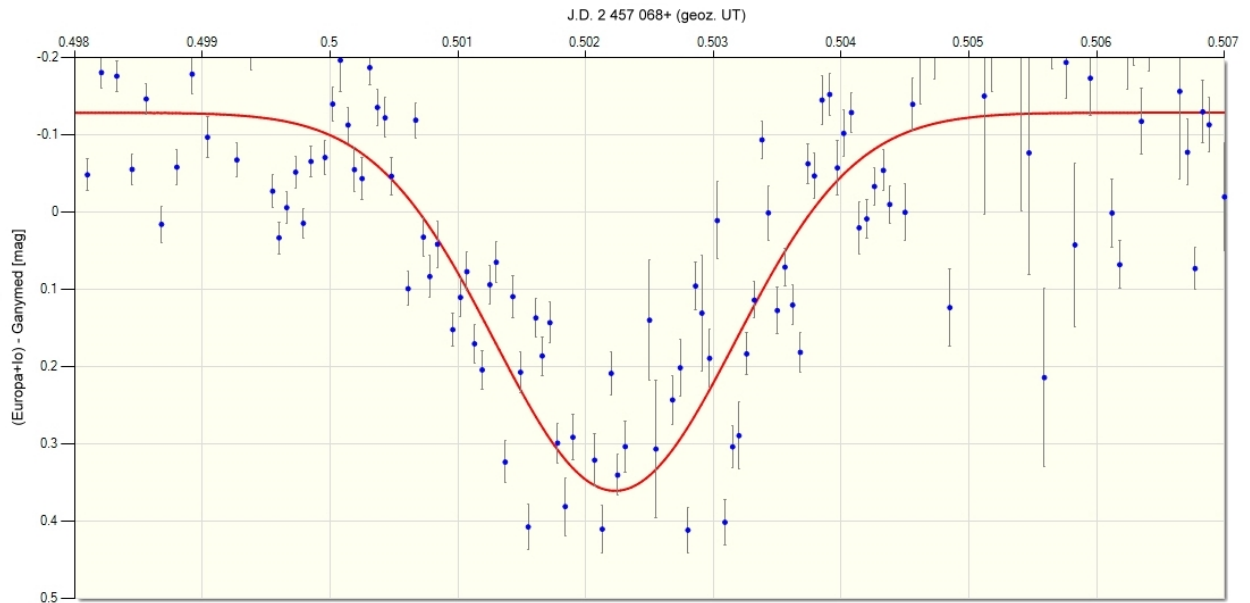


Abbildung 3: Ausschnitt der Lichtkurve, der das Helligkeitsminimum vergrößert zeigt.

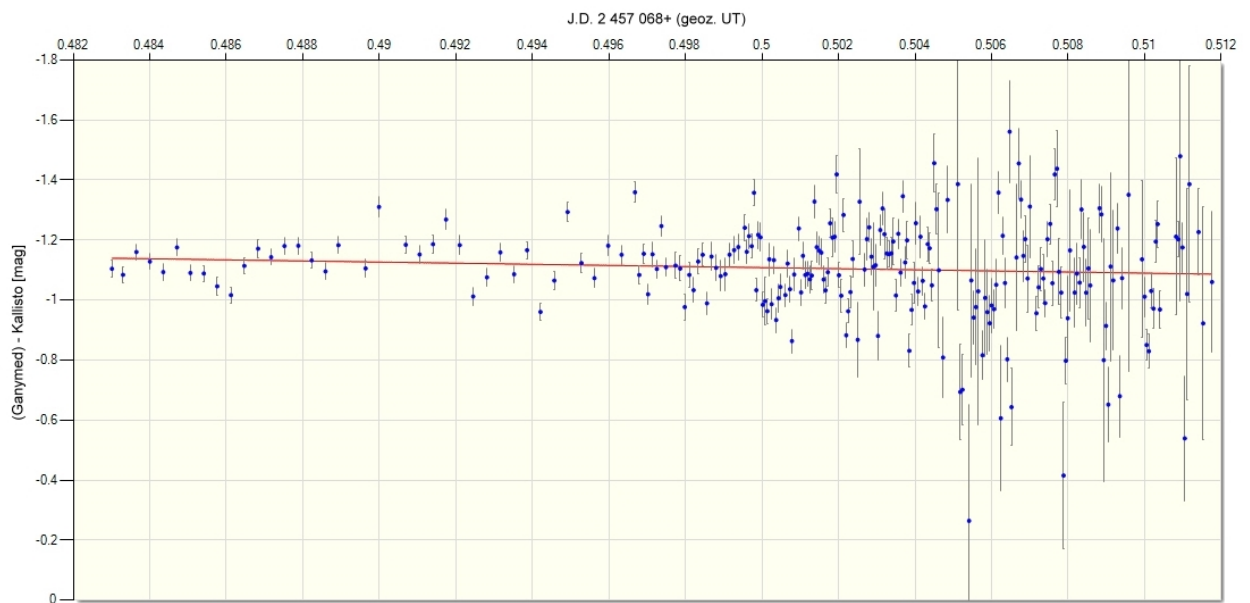


Abbildung 4: Das Diagramm stellt die Differenzhelligkeit von Ganymed zu Kallisto dar (C–K). Auffallend ist die zunehmende Streuung der Messpunkte und Länge der Fehlerbalken. Die Ursache liegt in der ansteigenden (ungleichmäßigen) Verdichtung von Hochnebel und Zirkuswolken.

5 Auswertung

5.1 Vergleich K–C

Aus Abbildung 4 ergibt sich ein Mittelwert von $C-K = -1.113 \pm 0.007 \text{ mag} \approx -1.11 \pm 0.01 \text{ mag}$. Dabei beträgt die Streuung (Fehler einer Einzelmessung) $\pm 0.11 \text{ mag}$. Eine lineare Regression ergibt eine leichte Abnahme von -1.14 mag bis -1.09 mag . Die Messungen entsprechen somit dem erwarteten Wert von -1.13 mag .

Es geht aber bei diesem Diagramm hauptsächlich darum, atmosphärische Einflüsse zu erkennen. Diesbezüglich ist in erster Linie auffällig, dass die Streuung der Messwert mit der Zeit zunimmt, und gleichzeitig auch die Fehler der Einzelmessungen anwachsen (Länge der Fehlerbalken). Diese beiden Effekte gehen miteinander konform und haben Ihre Ursache in der zunehmenden Zirkus- und Hochnebelbildung. Zeitweise wurden bei gleichbleibender Belichtung die Monde nicht mehr abgebildet, selbst Jupiter wurde nur noch schemenhaft abgelichtet.

5.2 Lichtkurve V–C

Um den Zeitpunkt des Minimums und die Amplitude zu bestimmen, wurde ein Gaußfit durchgeführt. Bevor die numerischen Resultate diskutiert werden, soll zunächst die Verwendung des Gaußfits anstatt einer anderen Regression begründet werden.

Grundsätzlich ist es wünschenswert, wenn eine Funktion für die Ausgleichsrechnung verwendet wird, die der vorliegenden Physik entspricht. Das ist nicht immer einfach und häufig verwendet man Näherungsfunktionen. Statt ein Polynom zu verwenden, das nur in einem engen Bereich um das Minimum hinreichend gültig wäre, wurde eine Gaußfunktion für die gesamte Lichtkurve verwendet. Der Vorteil hierbei ist, dass man nicht nur den Zeitpunkt des Minimums berechnet bekommt, sondern auch das Grundniveau und die Amplitude.

In wie weit ist aber eine Gaußfunktion geeignet, die reale Physik nachzubilden? Sicherlich ist die rein geometrische Bedeckung keine Gaußfunktion. Aber die wird auch nicht gemessen, sondern die Leuchtdichtefunktion der Monde aufgrund von Luftunruhe (Seeing) und Beugung. Diese ist zwar auch keine Gaußfunktion, kann aber sehr gut damit angenähert werden, was selbst in der professionellen Astronomie gängige Praxis ist.

Die Lichtquellen (Monde) erscheinen also nicht als Flächen, die sich bedecken, sondern als quasi punktförmige Lichtquellen mit gaußähnlicher Punktspreizfunktion. Deshalb kann auch die resultierende Lichtkurve gut durch eine Gaußfunktion dargestellt werden („Gauß bleibt Gauß“).

Der Gaußfit ergibt als Zeitpunkt für die **Mitte der Bedeckung** (= Minimum = Symmetrieachse) J.D. 2457068.50223 ± 0.00005 . Diese Angabe ist genau genommen topozentrisch, darf aber bei der vorliegenden Genauigkeit auch als geozentrisch angesehen werden. Umgerechnet fand das Minimum also am 15.02.2015 um 01:03:12.7 MEZ (± 4.3 s) statt. Zum Vergleich: Der mit *Occult* berechnete Wert liegt bei 01:03:15 MEZ, also nur 2.3 Sekunden später und somit gut innerhalb des eigenen Messfehlers.

Für das **Grundniveau** ergibt der Gaußfit den Wert -0.129 ± 0.007 mag $\approx -0.13 \pm 0.01$ mag. Hier wird aufgrund der oben genannten Betrachtungen -0.20 mag erwartet. Die geringe Abweichung von 0.07 mag kann sowohl durch mittleren Fehler einer Einzelmessung (Streuung) von 0.087 mag ≈ 0.09 mag erklärt werden als auch durch physikalische Effekte wie Rotationslichtwechsel der Jupitermonde.

Dafür stimmt die gemessene **Amplitude** wieder sehr genau mit den theoretischen Berechnungen aus *Occult* überein. Die Amplitude beträgt 0.489 ± 0.028 mag $\approx 0.49 \pm 0.03$ mag in bester Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert von 0.493 mag (entsprechend 63.5% Helligkeitsabfall).

Der Beginn und das Ende der Bedeckung lässt sich nur graphisch aus der Lichtkurve ablesen.

	<u>Wischnewski</u>	<u>Occult</u>
Beginn:	0.5001 ± 0.0001	0.50002
Mitte:	0.50223 ± 0.00005	0.50226
Ende:	0.5044 ± 0.0001	0.50449

Die sich daraus ergebende Dauer der Bedeckung wird mit 6.2 ± 0.3 min abgeschätzt. Der berechnete Vergleichswert aus *Occult* beträgt 386 s = 6.43 min.

Minimum: J.D. 2457068.50223 ± 0.00005 topozentrisch \approx geozentrisch
 15.02.2015, 01:03:12.7 ± 4.3 s MEZ
 Vergleichswert aus *Occult*: 01:03:15 MEZ

Amplitude: 0.489 ± 0.028 mag
 Vergleichswert aus *Occult*: 0.493 mag