

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Band: 7 (1962)
Heft: 77

Artikel: Gegenseitige Verfinsterung der Jupiter-Trabanten
Autor: Leutenegger, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-900017>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

GEGENSEITIGE VERFINSTERUNG DER JUPITER-TRABANTEN

Von E. LEUTENEGGER, Frauenfeld

Die vier grossen, von Galileo Galilei 1610 als eine der ersten Früchte der Erfindung des Fernrohrs entdeckten Jupitermonde kreisen bekanntlich sozusagen in ein und derselben Ebene um den Planeten Jupiter. Diese Ebene stimmt weiter nahezu mit der Aequatorebene des Planeten überein. Diese wiederum ist um einen Winkel von 3.07° gegen die Ebene der Jupiterbahn geneigt. Die Jupiterbahn endlich bildet mit der Ekliptikebene, der Ebene der Erdbahn, einen Winkel von 1.3° .

Zweimal während eines Jupiterumlaufes geht nun die Ebene der Jupitermond-Bahnen durch die Sonne. Dann ist die Möglichkeit gegeben, dass erstens die Jupitermonde – von der Erde aus gesehen – sich gegenseitig bedecken, und dass zweitens einer der Monde in den Schattenkegel eines andern gerät. Im ersten Falle beobachten wir von der Erde aus, dass zwei vor und nach der Bedeckung (englisch: occultation) getrennt sichtbare Monde für eine gewisse Zeit zu einem einzigen fast sternartigen Punkt verschmelzen. Die Dauer einer solchen Bedeckung hängt von verschiedenen Umständen ab: 1) davon, welche Monde sich überdecken; 2) welche Stellung die beiden Monde innehaben und 3) im Zusammenhang damit, mit welchen Geschwindigkeiten die Monde, von der Erde aus gesehen, sich scheinbar vom Planeten Jupiter entfernen oder sich ihm nähern. Bei gleichsinniger Bewegung dauert natürlich die Bedeckung wesentlich länger als bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung. 4) hängt die Dauer der Bedeckung auch davon ab, ob die beiden Monde, die immerhin als kleine Scheibchen gesehen werden, sich zentral oder nur exzentrisch aufeinander projizieren. 5) spielt aus beugungstheoretischen Gründen die Brennweite und das Auflösungsvermögen des verwendeten Fernrohres eine wesentliche Rolle.

Interessanter als die Bedeckungen sind die gegenseitigen Verfinsterungen zweier Jupiter-Trabanten. Von zwei in Jupiternähe vorerst getrennt sichtbaren Monden taucht gelegentlich der entferntere in den Schattenkegel des näheren. Es tritt also eine Mondfinsternis ein, analog der Verfinsterung des Erdmondes, wenn dieser in den Schatten der Erde eintaucht (Abbildung 1).

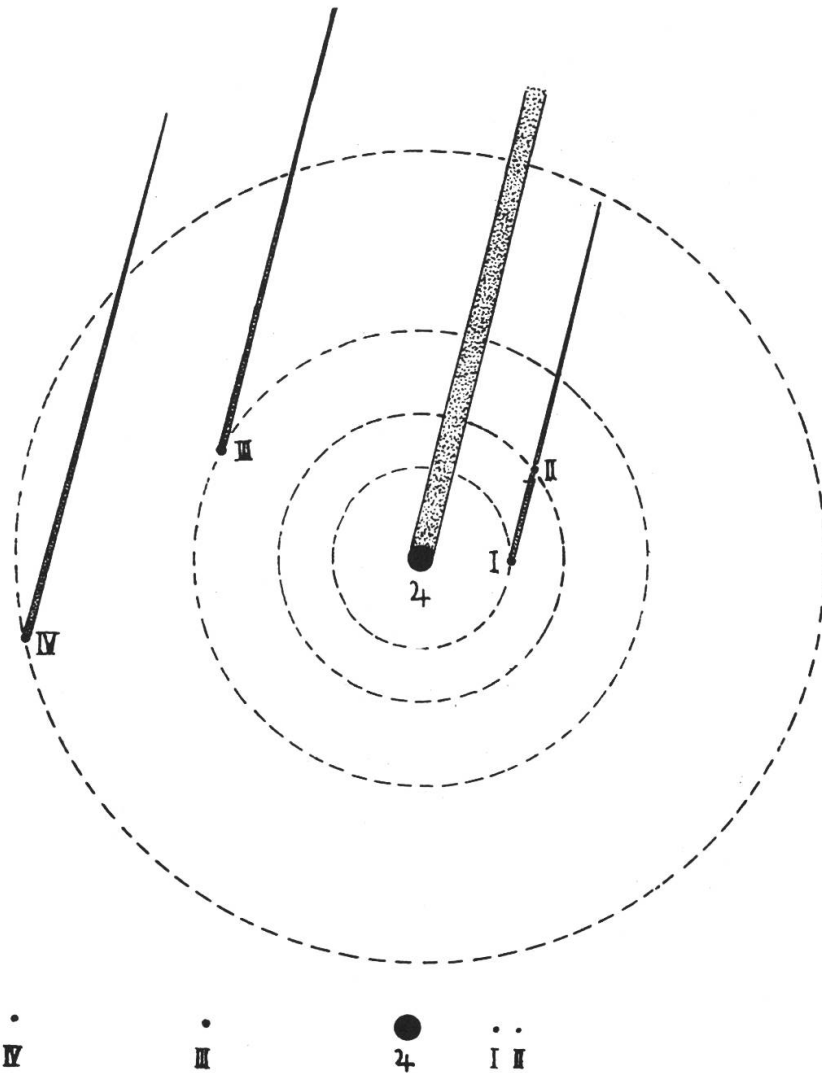


Abbildung 1 – Jupiter und seine Monde am 22. September 1961 um 21^h 20.
 Oben: Stellung der Monde in der Ebene ihrer Umlaufbahnen. Unten: Anblick
 im umkehrenden Fernrohr.

Dass solche gegenseitige Verfinsterungen der Jupitermonde seltene Ereignisse sein müssen, kann man ermessen, wenn man den ganzen Vorgang modellmässig betrachtet. Man stelle sich vor, dass ein etwa 1 ½ mm grosser Stecknadelkopf in den 1 Meter langen Schatten eines anderen, ebenso kleinen Stecknadelkopfes gebracht werden soll. Für den Beobachter am Fernrohr ist es ein eigenartiges Erlebnis, einen der Trabanten des Jupiter – scheinbar ohne sichtbare Ursache – in raschem Wechsel an Helligkeit abnehmen, unter Umständen sogar vollständig verschwinden und dann wieder auftauchen zu sehen. Was diese gegenseitigen Jupitermond-Verfinsterungen von unseren Mondfinster-

nissen unterscheidet, ist in erster Linie der rasche Verlauf der ganzen Erscheinung. Während eine irdische Mondfinsternis vom Eintritt des Mondes in den Halbschatten der Erde bis zu seinem Wiederaustritt aus demselben einige Stunden dauern kann, vollzieht sich der durch die Verfinsterung erzeugte Helligkeitswechsel innert kurzer Zeit, ja gelegentlich innerhalb weniger Minuten. Auch hier hängt die Dauer der ganzen Erscheinung wie der Verlauf einer Bedeckung von den Stellungen der Jupitermonde zu Jupiter, Sonne und Erde, von ihren Geschwindigkeiten, ihren Grössen und ihrem gegenseitigen Abstand ab.

Eine Jupitermond-Verfinsterung gleicht in ihrem Ablauf einer Algol-Verfinsterung, d. h. einer Bedeckung eines Sterns durch einen andern, die aber beide nicht getrennt sichtbar sind wegen ihrer zu grossen Entfernung. Natürlich sind die Ursachen der beiden Erscheinungen ganz verschieden. Auch benötigt eine Algol-Verfinsterung mehr Zeit als eine Jupitermond-Verfinsterung. Die bei einer Jupitermond-Verfinsterung erhaltene Helligkeitskurve stellt gewissermassen eine im Zeitraffertempo aufgenommene Algol-Kurve dar.

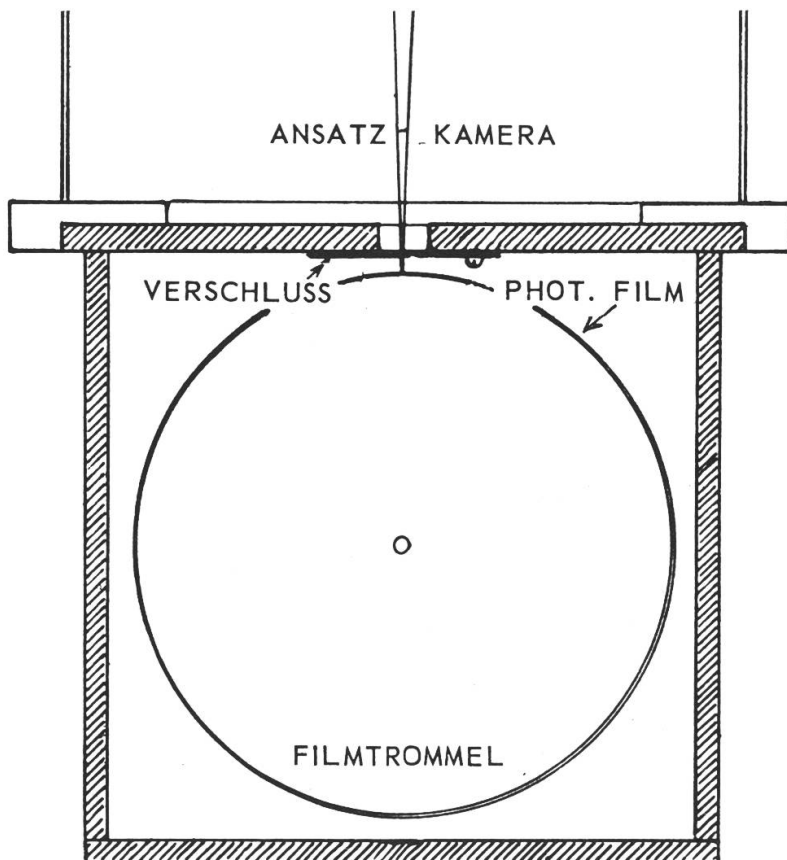


Abbildung 2 - Jupitermond-Kamera.

Es war mir möglich, von den 14 Jupitermond-Verfinsterungen, die sich nach Angabe von R. A. Naefs Sternenhimmel 1961 und 1962 in den Monaten September bis Januar ereigneten, wenigstens deren zwei, nämlich die vom 19. und 22. September 1961 photographisch festzuhalten – alle andern fielen der Ungunst der Witterung zum Opfer –, und zwar mit einer von meinem Kollegen René Schaltenbrand, Physik-lehrer an unserer Frauenfelder Kantonsschule, für diesen Zweck ge-bauten speziellen Kamera. Diese Kamera dient ausschliesslich für Reihenaufnahmen des Planeten Jupiter und seiner Trabanten (siehe Abbildung 2).

Auf einer Trommel, einer alten Konservenbüchse, ist ein Stück hochempfindlicher Schwarz-Weiss-Film (Ilford Panchromatic Hypersen-sitiv) aufgespannt. Diese Trommel dreht sich in einem lichtdicht ver-schliessbaren Kästchen, das an Stelle einer Photokassette an der zum Refraktor der Kantonsschule gehörigen Ansatz-Kamera angebracht werden kann. Letztere ist im Positionswinkel drehbar, so dass die Bilder des Planeten und seiner Monde, die ja immer mehr oder weniger längs einer Geraden angeordnet sind, durch einen wenige Millimeter breiten Schlitz auf eine Mantellinie des Filmzylinders gebracht werden können. Der Schlitz kann durch einen Verschluss geöffnet und ge-schlossen werden. Verschluss und Trommeldrehung werden über einen Zeitschalter elektrisch gesteuert (Abbildung 3).

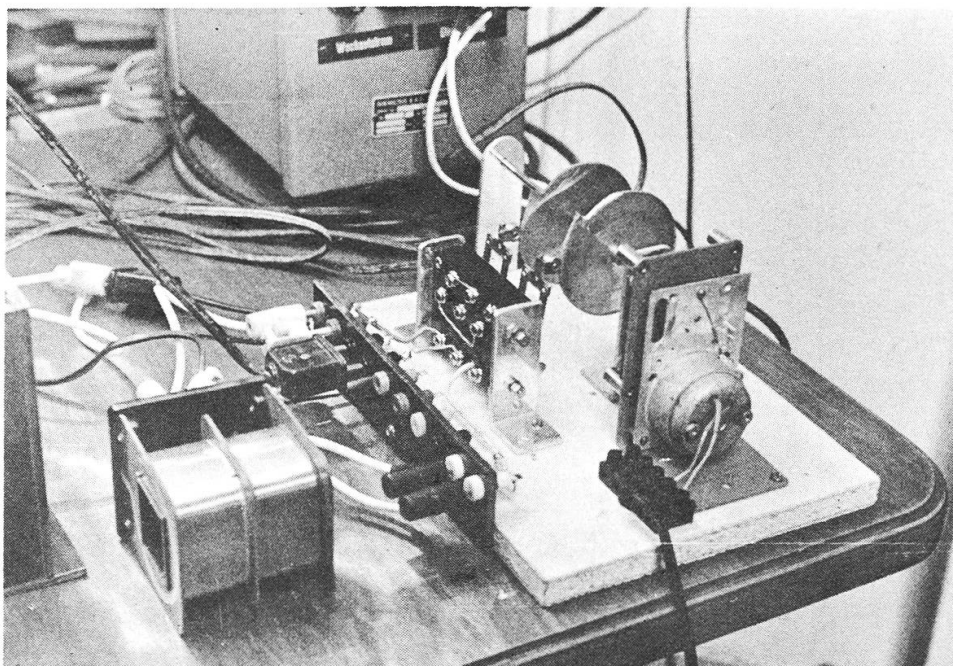


Abbildung 3 – Steuermechanismus zur Jupitermond-Kamera.

Der Betrag der Trommeldrehung und der Durchmesser der Trommel sind so gewählt, dass die einzelnen Aufnahmen auf dem Film einen Abstand von nur 3mm haben. Die Drehung der Trommel erfolgt alle halben Minuten, so dass die Belichtungszeit pro Einzelbild etwas weniger als eine halbe Minute beträgt. Das genügt denn auch vollauf, um von allen Monden, auch den schwächeren, ein gut geschwär. es Bild zu erhalten. Auf einem etwa 30 cm langen Filmstück finden gegen 100 Einzelaufnahmen Platz, was einer Gesamtaufnahmedauer von 50 Minuten entspricht. Auch die längste Verfinsterung (12. September; 38 Minuten) kann also auf einem einzigen Filmstreifen registriert werden.

Dass die Aufnahmen auf gekrümmten Film erfolgen, bietet weiter keine Schwierigkeiten betreffend Schärfe der Bilder. Bei einem Bilddurchmesser des Jupiterplaneten von nur 1mm ergibt sich für den Rand des Planetenbildchens eine Fokusdifferenz von 0.0025 mm. Allerdings muss die Kamera im Positionswinkel so eingestellt werden, dass sich auch die Monde des Jupiter durch den Schlitz auf die gleiche Mantellinie des Filmzylinders abbilden wie der Planet selbst, und es muss durch exakte Nachführungskontrolle dafür gesorgt werden, dass auch der Planet nicht zufolge ungenauer Nachführung oder Aufstellung des Instrumentes von der Mantellinie wegwandert.

Abbildung 4 – Ausschnitt aus dem Jupitermond-Film vom 22. September 1961 (etwas vergrössert).*

*) Die hier wiedergegebene Negativ-Vergrösserung verdanke ich Herrn G. Klaus, Grenchen, der den ziemlich zerkratzten Filmstreifen in einen einwandfreien Zustand zu bringen wusste, wofür ihm bestens gedankt sei. Die Helligkeitsänderungen des 4. Jupitermondes (zu äusserst links) sind durch die nachträgliche Behandlung des Films auf unerfindliche Weise entstanden.

Mit dieser Apparatur haben wir die beiden Verfinsterungen vom 19. September 1961 $23^{\text{h}} 43^{\text{m}} - 24^{\text{h}} 06^{\text{m}}$ MEZ (Mond III verfinstert Mond II, grösste Phase 0.93) und 22. September $21^{\text{h}} 13^{\text{m}} - 21^{\text{h}} 25^{\text{m}}$ MEZ (Mond II tritt in den Schatten von Mond I, grösste Phase 0.66) photographisch verfolgt. Da bei der ersten der beiden Finsternisse Jupiter schon nahe seinem Untergange war, wurden die Aufnahmen allerdings beträchtlich gestört durch Extinktionsschwankungen und starke Szintillation, wodurch die Mondbildchen übermässig verbreitert, z. T. bis zur vollkommenen Auslöschung verwischt wurden, was ihre Vermessung unmöglich machte. Hingegen konnten die Aufnahmen vom 22. September zu Helligkeitsmessungen verwendet werden (Abbildung 4).

Herr Prof. Dr. W. Becker, Basel, hatte die Freundlichkeit, die Helligkeiten der Jupitermonde – der unverfinsterten und des verfinsterten mit dem von ihm konstruierten Irisblenden-Platten-Photometer zu bestimmen, wofür ihm herzlich gedankt sei. Mit diesem hervorragenden Photometer können durch Verwendung einer Irisblende auf photoelektrischem Wege sogenannte effektive Durchmesser von Sternbildchen – die Jupitermonde bilden sich ja gleichfalls wie Sterne ab – bestimmt werden. Aus den Durchmessern der Schwärzungsbilder liess sich durch Anschluss an die gleichzeitig gemessenen Durchmesser der unverfinsterten Monde I, III und IV und deren Helligkeiten die Helligkeit des verfinsterten Mondes II berechnen. Für die Helligkeiten der Satelliten des Jupiter wurden die in der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Werte angenommen, die dem für Jupiterbeobachter höchst lesenswerten Werk: *B. M. Peek, The Planet Jupiter* (Faber und Faber, London, 1958) entnommen sind. Dieses Buch erwähnt in Kapitel 32 interessante Beobachtungen gegenseitiger Bedeckungen und Verfinsterungen aus früherer Zeit. Es scheint, dass der Verfasser dieses Aufsatzes als erster versucht hat, den ganzen Verlauf der gegenseitigen Verfinsterung zweier Jupitermonde mit photographischer Reihenaufnahmen festzuhalten.

Mond III wurde bei der Helligkeitsbestimmung nicht mitbenützt, da seine Bilder aus unbekanntem Gründen durchwegs zu hell ausgefallen waren. Die Ergebnisse von Messung und Rechnung sind in der graphischen Darstellung der Abbildung 5 durch die eingetragenen Punkte angedeutet. Eine den Punkten möglichst folgende glatt verlaufende Kurve (ausgezogen) soll Messfehler oder Helligkeitsschwankungen, die bei der Aufnahme entstanden sein könnten, weitgehend ausgleichen. Man erkennt, dass die Helligkeitskurve die typische Form einer Algol-Lichtkurve hat. Aus der Kurve lesen wir ab, dass Mond II im Maximum der Verfinsterung etwa 1.6 Grössenklassen schwächer war.

Mond	Mittlerer Bahnradius km	Durch- messer km	Masse Jupiter = 10^5	Albedo	Helligkeit in mittlerer Opposition
I Io	422000	3250	4.497	0.57	5.5 ^m
II Europa	671000	2880	2.336	0.60	6.1
III Ganymed	1071000	5020	7.988	0.34	6.1
IV Callisto	1884000	4460	4.502	0.15	6.2
Erdmond	384000	3478	3.848	0.072	7.6 *

*) Helligkeit, wenn dieser in Jupiter-Entfernung versetzt würde.

Tabelle 1 – Einige Angaben über die Monde des Jupiter (aus B. M. Peek, 'The Planet Jupiter', London, 1948).

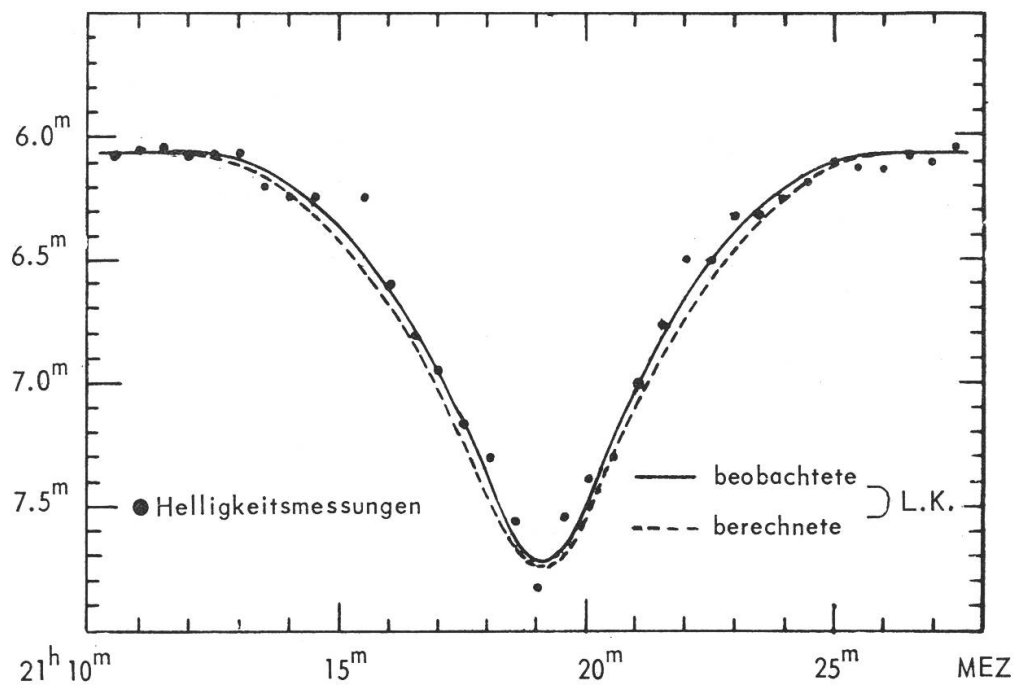


Abbildung 5 – Beobachtete und theoretische Lichtkurve der Jupitermondverfinsterung vom 22. September 1961.

Es interessierte mich nun, eine theoretische Lichtkurve zu errechnen. Dazu waren zu ermitteln: die Entfernung zwischen beschattendem und verfinstertem Mond $d = 441\,000$ km, der Radius des Kernschatten-

kegels $r_K = 1225$ km und derjenige des Halbschattenkegels $r_H = 2070$ km am Orte der Verfinsterung. Die Helligkeit im Halbschatten – in Bruchteilen der vollen Beleuchtungsintensität durch die Sonne – in Abhängigkeit vom Abstand r eines Punktes vom Schattenzentrum wurde aus dem für einen Punkt im Abstand r sichtbaren Teil der Sonnenscheibe bestimmt; die erhaltenen Werte sind in Tabelle 2 angegeben und in Abbildung 6 graphisch dargestellt.

Abstand vom Schattenzentrum r	Intensität der Beleuchtung $i = I/I_0$
< 1225 km	0.00
1225	0.00
1394	0.14
1563	0.41
1732	0.67
1901	0.88
1986	0.97
2070	1.00
> 2070	1.00

Tabelle 2 – Relative Intensität der Beleuchtung im Halbschattenkegel des 1. Jupitermondes und ausserhalb desselben.

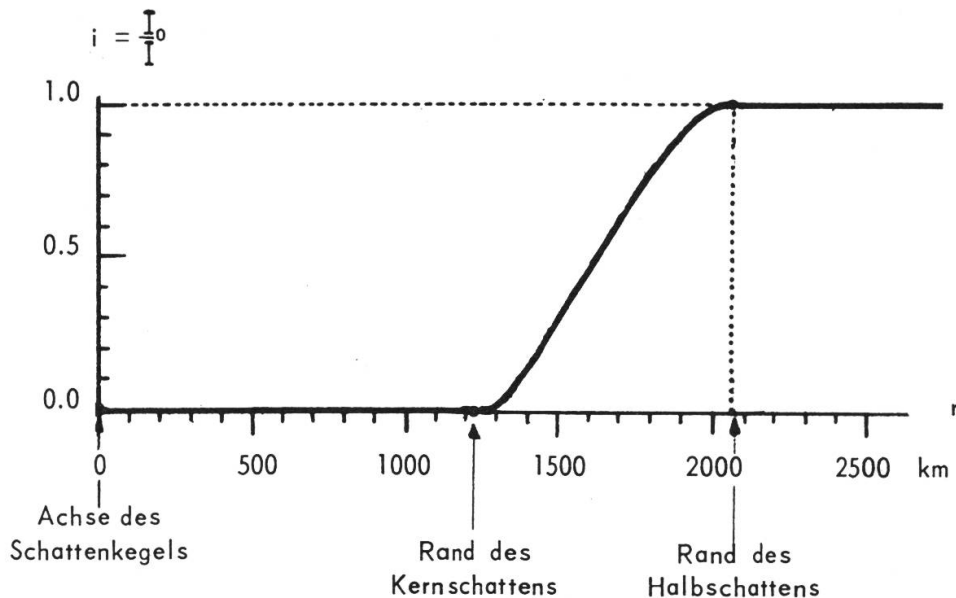


Abbildung 6 – Relative Intensität der Beleuchtung im Schattenkegel des 1. Jupitermondes und ausserhalb desselben.

Indem man nun den Schattenquerschnitt aufteilt in schmale Kreisringsektoren, deren Zentrum im Mittelpunkt des Kernschattens liegt, und mit Hilfe der im Zentrum gemessenen Winkel φ die Länge der Streifen bestimmt, lässt sich mit Benützung der relativen Lichtintensität der Anteil der betreffenden Zone an der Gesamtintensität berechnen. Letztere ergibt sich durch Summation. Der totale Lichtverlust kann aus dem Verhältnis der Intensität des verfinsterten Mondes zu derjenigen des unverfinsterten Mondes errechnet werden. Mathematisch sieht das so aus:

$$\text{Helligkeitsverlust } \Delta_m = 2,5 \cdot \log (I_0/I) = 2,5 \cdot \log \left[\pi r_m^2 / \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} i \cdot r \cdot \varphi \cdot dr \right]$$

Diese Summation (Integration) muss graphisch ausgeführt werden.

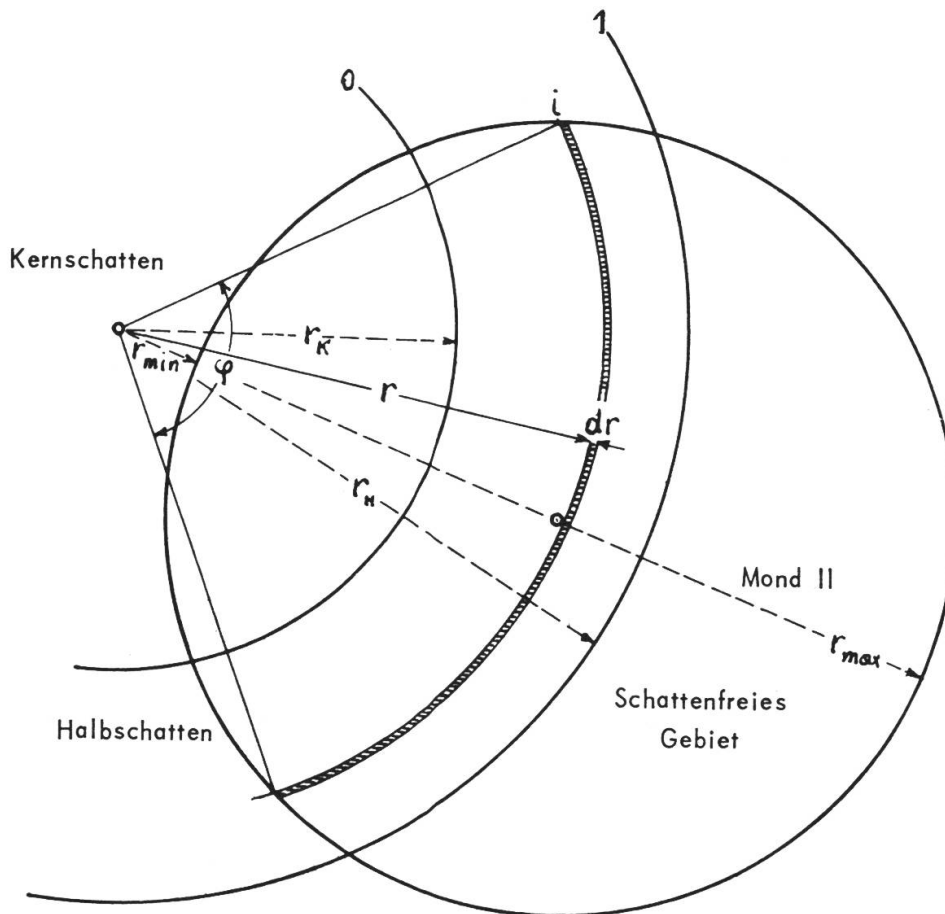


Abbildung 7 – Zur Berechnung der relativen Helligkeit eines ganz oder teilweise verfinsterten Mondes.

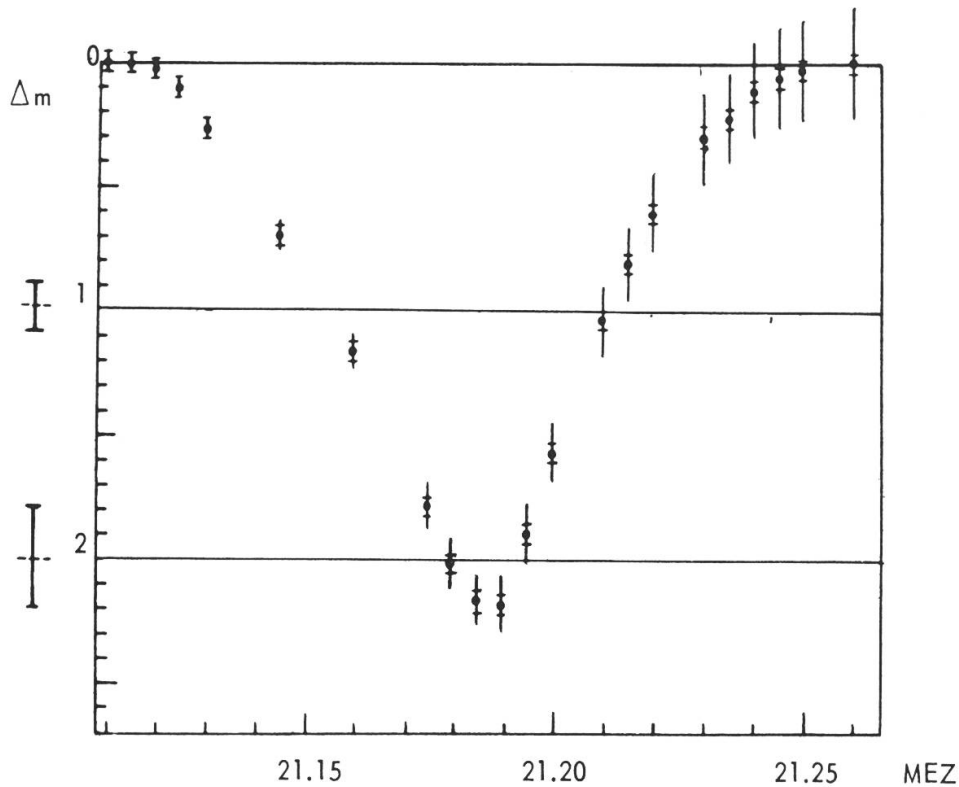
Auf diese Weise hat sich eine theoretische Lichtkurve (in Abbildung 5 gestrichelt) des verfinsterten Mondes ergeben, die von der beobachteten Lichtkurve nur wenig abweicht. Die theoretische Lichtkurve ist unter der Annahme berechnet worden, dass die maximale Verfinsterung des Mondes II, d. h. der im Kernschatten liegende Teil des Durchmessers, 0,67 betrage. In R. A. Naefs «Sternenhimmel 1961» ist die Verfinsterungsgrösse 0.66 angegeben. Der nur leicht vergrösserte Wert 0.67 wurde aus dem Grunde gewählt, weil dann die Amplitude der Helligkeitsänderung mit derjenigen, welche tatsächlich beobachtet wurde, am besten übereinstimmt. Die Rechnung ergibt $\Delta m = 1.65^m$. Die kleine Differenz im Wert der Verfinsterungsgrösse ist durchaus annehmbar in Anbetracht der wohl immer noch bestehenden Unsicherheiten einzelner Bahnelemente der vier grossen Jupitermonde und ihrer nicht leicht zu messenden Durchmesser. Und aus der eingangs gemachten Bemerkung über die Seltenheit der gegenseitigen Jupitermond-Verfinsterungen mag auch ersehen werden, welche grosse Anforderungen an die Genauigkeit dieser Zahlenwerte gestellt werden müssen, um solche Ereignisse mit einiger Sicherheit vorausberechnen zu können.

Die schon erwähnte kleine Abweichung der beobachteten Lichtkurve von der theoretischen, die auch durch Variation des Wertes der Verfinsterungsgrösse in ihrer Form nicht wesentlich geändert werden kann, muss jedenfalls so gedeutet werden, dass die äusseren Partien des Halbschattens lichtintensiver sind, als wie für die Berechnung der theoretischen Lichtkurve angenommen wurde. Es wäre denkbar, dass diese Aufhellung der äusseren Partien des Halbschattens einer gewissen Refraktionswirkung durch eine zwar sehr dünne Atmosphäre des die Verfinsterung bewirkenden Mondes zuzuschreiben wäre.

Eingegangen: Februar 1962.

Adresse des Verfassers: Sternwarte der Kantonsschule Frauenfeld.

Die gleiche Verfinsterung, am 22. September 1961, wurde auch von Herrn Ulrich Schwarz mit dem lichtelektrischen Photometer der Sternwarte Zimmerwald gemessen. Abfall und Wiederanstieg der Helligkeit des Trabanten II waren dabei sehr schön direkt auf der Schreibtrommel zu verfolgen. Die registrierte Lichtkurve (Abbildung 8) läuft etwas steiler und tiefer als die photographische von Herrn Dr. Leutenegger. In Frauenfeld wurde mit einer panchromatischen Emulsion photographiert, in Zimmerwald dagegen durch ein Gelbfilter gemessen (visuelle



Helligkeit V aus dem UBV-System von Johnson und Morgan). Ob das alle Unterschiede erklären kann, ist sehr fraglich. Besonders eigenartig ist die Asymmetrie der photoelektrischen Lichtkurve. (Punkte auf dem absteigenden Ast liegen bis zu $0^m 4$ tiefer als die entsprechenden auf dem Wiederanstieg.) Es ist nicht völlig ausgeschlossen, dass die Helligkeit sich tatsächlich unsymmetrisch änderte; die Jupiter-Trabanten sind ja z. B. nicht gleichmässig helle Scheibchen, sondern weisen dunklere und hellere Gebiete auf. Wahrscheinlich ist aber, dass die Asymmetrie erst bei der nachträglichen Korrektur für die Wirkung der Extinktion entstanden ist. Zur Zeit der Verfinsternung stand Jupiter schon sehr tief im Südwesten; die Extinktion seiner Strahlen in der Erdatmosphäre wuchs von Minute zu Minute, sodass der Trabant II nach der Finsternis nicht mehr die gleiche Helligkeit wie vorher erreichte. Diesen Effekt musste man durch immer kräftigere «Hebung» der registrierten Kurve wettmachen; dabei wurde vorausgesetzt, die Extinktion habe linear mit der Zeit zugenommen. Die Unsicherheit dieser Korrektur ist in der Zeichnung mit langen vertikalen Strichen durch jeden Messpunkt angedeutet. (Mit kurzen Horizontalstrichen ist darauf der Bereich der «statistischen» Fehler, verursacht durch Szintillation und durch «Rauschen» des Photozellenstroms, markiert).

Zweifellos war das Vorgehen von Herrn Dr. Leutenegger das bessere: nämlich die Extinktion dadurch zu eliminieren, dass er die Helligkeit des verfinsterten Trabanten an die Helligkeiten der anderen, unverfinsterten anschloss. Herr Schwarz bestimmte die Helligkeit des Trabanten II ausserhalb der Finstemis, durch Vergleich mit einigen Standardsternen, zu $m_V = 6.6 \pm 0.2$. Dieser Wert ist natürlich auch wieder mit der grossen Unsicherheit der Extinktion behaftet. Die Helligkeitsskala der Lichtkurve ist daher hier nur relativ zum unverfinsterten Zustand angeschrieben. Selbst diese Skala ist nicht sehr sicher, weil so tief gegen den Horizont und so nahe an der hellen Jupiterscheibe das zu subtrahierende Licht des Himmelshintergrundes nur mit Mühe einigermaßen korrekt zu messen und schwerlich überhaupt konstant ist. Ehrlicher Weise müssen wir schliesslich noch davor warnen, sich etwa für irgendwelche Berechnungen auf die angeschriebene Zeit allzu sehr zu verlassen. Es liess sich nachträglich nicht mehr feststellen, ob die Zeitmarken auf dem Registrierstreifen genau nach MEZ oder nur nach der etwas abweichenden Angabe einer Armbanduhr angebracht wurden. Die ganze Beobachtung wurde hauptsächlich als ein Probestück für das neue Photometer aufgefasst. Alle Anwesenden freuten sich über das gute Gelingen und waren beeindruckt von der Tatsache, dass ein Schatten auf dem fernen Jupitermond Europa so spielend im irdischen Europa einen Hebel in Bewegung zu setzen vermochte.

(Eingegangen am 14. Mai 1962)

Astronomisches Institut der Universität Bern

L'HORLOGE CELESTE

par K. EISEMANN, traduit de l'anglais par E. ANTONINI

Etudiants et amateurs pourront trouver intérêt à cette méthode simple de calcul de l'heure en partant de la date et de la position des étoiles. Aucun instrument ni aucune table ne sont nécessaires. On admet simplement que le lecteur est capable de situer et d'identifier alpha et bêta de la Grande Ourse ainsi que la Polaire.