

Zur Mondfinsternis vom 16. September 1978

Autor(en): **Hügli, Ernst**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **37 (1979)**

Heft 170

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899591>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Mondfinsternis vom 16. September 1978

von ERNST HÜGLI, Bern

Eine Nachlese

1. Vorbemerkungen

Bei den Vorbereitungen für die Beobachtung der Mondfinsternis vom 16. September 1978 verfolgten wir, d. h. die Mitglieder der Astronomischen Gesellschaft des Kantons Solothurn, zwei Ziele: die Freude am Naturereignis zu wecken und den interessierten Mitgliedern Einblick in die Arbeitsweise der Astronomie zu bieten. Eine Mondfinsternis eignet sich nämlich ausgezeichnet, um auf elementare Weise die Entfernung des Mondes von der Erde zu bestimmen. Wir mussten deshalb einen Beobachtungsort suchen, an dem voraussichtlich gute Wetterbedingungen herrschen würden. Wir fanden ihn auf dem Chasseral.

Warm angezogen trafen wir uns dort am Finsternisabend gegen Abend. Wir waren neun Personen, darunter zwei Frauen. Als erstes galt es, die mitgebrachten Beobachtungsinstrumente aufzustellen: eine ganze «Batterie» von Stativen und Fotoapparaten mit und ohne Teleobjektiv (leider kein grösseres Fernrohr zum Fotografieren). Die Sicht war prächtig und der Himmel über uns klar, was sich während der Totalität in einem ungeahnten Sternenreichtum bemerkbar machte. Dunst lag in den Tälern am Fusse des Berges. Dann war es soweit: zirka um 18.35 Uhr schob sich der Mond über den Horizont. In der fortschreitenden Dämmerung konnte man nun beobachten, wie der Erdschatten stetig über die Mondscheibe vorrückte, bis er den Mond vollständig verdunkelte. Dann, während der Totalität, leuchtete der

Mond in jenem kupferfarbenen Licht, das in jedem Astronomielehrbuch beschrieben ist.

Nach Ende der Totalität verliess der Erdschatten nach und nach wieder die Mondscheibe. In allen Phasen der Finsternis wurden fleissig Kameraverschlüsse betätigt, Beobachtungsdaten notiert und dazwischen ganz das Naturschauspiel genossen.

Nach der Beobachtungsarbeit belebten wir unsere abgekühlten Körper unter einem wieder hellen Vollmond mit heissem Tee oder Kaffee und einer heissen Wurst vom Grill.

Der Auswertung der Beobachtungsergebnisse — auch im Hinblick auf unser Programm zur Entfernungsbestimmung Erde—Mond — wurde noch ein ganzer Abend gewidmet. Der Novemberhock stand im Zeichen der «Mondfinsternis-Expedition».

2. Das Programm

Wie sieht nun das erwähnte Programm zur Bestimmung der Entfernung Erde—Mond aus? Idee und Durchführung sind sehr einfach und gehen angeblich auf *Hiparch von Nikaea* (ZIMMERMANN, 1969) zurück.

Bei einer Mondfinsternis hinterlässt die Erde auf dem Mond einen kreisförmigen Schatten. Bei bekannter Erd- und Sonnengrösse ist dieser Schatten umso kleiner, je weiter sich der Mond von der Erde entfernt befindet. Der Mond dient als Projektionsschirm. Es gilt:

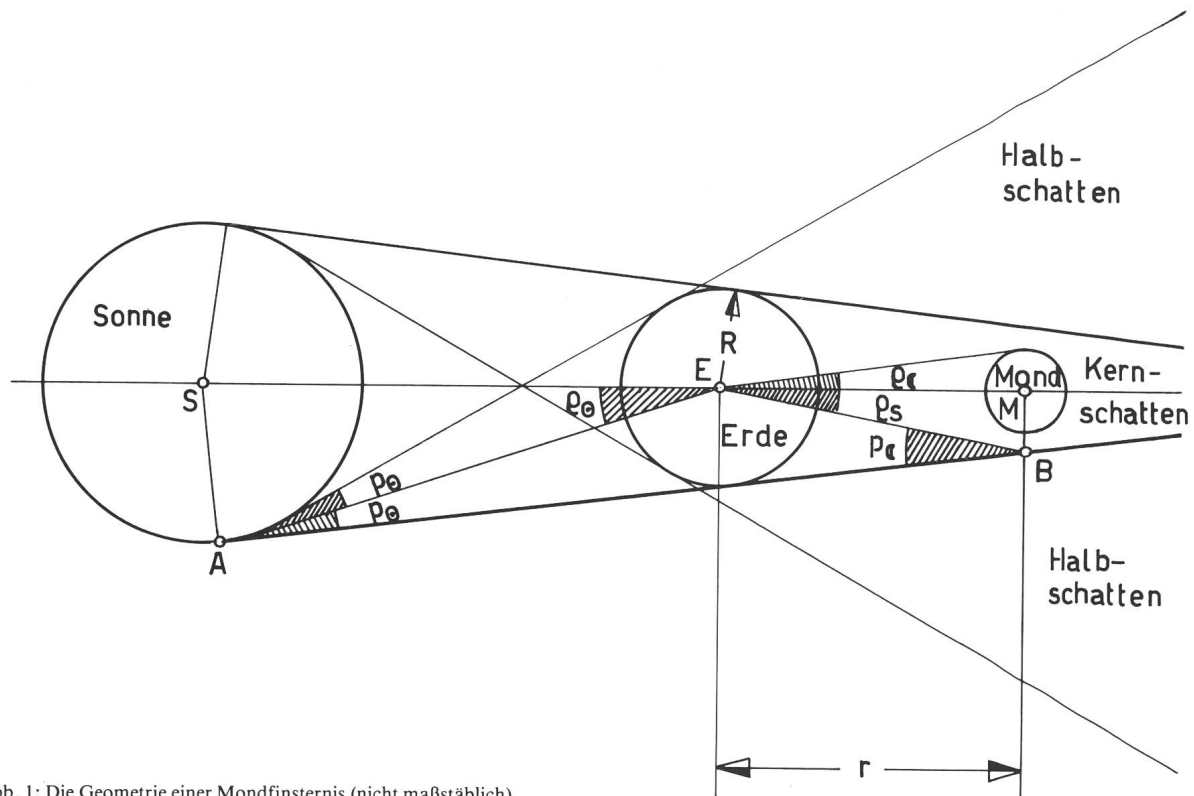


Abb. 1: Die Geometrie einer Mondfinsternis (nicht maßstäblich)

Bedeutung der Symbole:

R : wahrer Erdradius ($R = 6370$ km)

r : wahre Distanz Erde—Mond

q_S : scheinbarer Radius des Erdkernschattens am Ort des Mondes

$q_\odot$: scheinbarer Radius der Sonnenscheibe

$p_\odot$: Sonnenparallaxe

p_ℓ : Mondparallaxe

Nach dem Aussenwinkelsatz gilt im Dreieck ABE die Beziehung (vgl. Abb. 1):

$$q_S + q_\odot = p_\odot + p_\ell \quad (1)$$

Bezeichnen wir mit x das Verhältnis der scheinbaren Radien von Kernschatten und Mond

$$x = \frac{q_S}{q_\ell} \quad (2)$$

so folgt aus (1) und (2) die Beziehung

$$x = \frac{p_\odot + p_\ell - q_\odot}{q_\ell} \quad (3)$$

Um nun die Entfernung r des Mondes von der Erde ins Spiel zu bringen, schreiben wir

$$p_\ell = \arcsin \frac{R}{r} \approx \frac{R}{r} \quad (4)$$

(die Horizontalparallaxe p ist klein!). Ersetzen wir in (3) p_ℓ gemäss und nach r auf, so erhalten wir:

$$r = \frac{R}{x \cdot q_\ell + q_\odot - p_\odot} \quad (5)$$

Gleichung (5) besagt, wir benötigen sechs Grössen, um die Entfernung des Mondes zu bestimmen:

1. die Sonnenparallaxe, die aber schwierig zu bestimmen ist; entweder wird sie einem Astronomiebuch entnommen (DIE STERNE, 1977) oder, da sie ohnehin nur gering ist, von Anfang an weggelassen
2. den Erdradius R ; ein «Messenthusiast» wird zwar irgendwann einmal in seinem Leben R nach der Methode des *Eratosthenes* messen. Für unsere Zwecke aber entnehmen wir R einem Lehrbuch (DIE STERNE, 1977) oder drücken die Entfernung des Mondes direkt in Vielfachen des Erdradius aus
3. den scheinbaren Durchmesser der Sonne; auch diesen Wert können wir der Literatur entnehmen (WILD, P./NAEF, R. A., 1978). Aus verschiedenen Gründen ist aber eine experimentelle Bestimmung angebracht. Man misst die Durchgangszeit der Sonne durch den zur täglichen Bewegung senkrecht stehenden Faden eines Fadenkreuzokulars. Steht kein Fadenkreuz zur Verfügung, dann misst man die Zeit zwischen erstem und letztem Kontakt der Sonnenscheibe mit einer vertikalen Linie (z. B. Hauswand) zur Zeit der Kulmination, wenn die Sonne sich horizontal bewegt. Da die Sonne im Mittel für einen scheinbaren Umlauf um die Erde einen Tag zu 86 400 Sekunden benötigt, beträgt ihre Winkelgeschwindigkeit (in Bogensekunden pro Zeitsekunden)

$$\omega_\odot = \frac{\text{Winkel}}{\text{Zeit}} = \frac{360^\circ \cdot 3600''/^{\circ}}{86\,400\text{ s}} = 15''/\text{s} \quad (6)$$

Beträgt ihre Durchgangszeit $T_\odot$ und ihre Deklination $\delta_\odot$, dann finden wir für ihren Radius in Bogensekunden

$$q_\odot = \frac{1}{2} T_\odot \omega_\odot \cos \delta_\odot \quad (7)$$

4. den scheinbaren Durchmesser des Mondes; ihn finden wir analog dem Sonnendurchmesser entweder in der Literatur (WILD, P./NAEF, R. A., 1978) oder nach Formel (7). Allerdings ist ω_ℓ ein wenig kleiner als $\omega_\odot$. Der Mond benötigt für einen synodischen Umlauf rund 29.5 Tage, also beträgt seine Winkelgeschwindigkeit

$$\omega_\ell = \frac{\text{Winkel}}{\text{Zeit}} = \frac{360^\circ \cdot 3600''/^{\circ}}{86\,400 + \frac{86\,400}{29.5}} \text{ s}^{-1} = 14.5''/\text{s} \quad (8)$$

5. den scheinbaren Durchmesser des Mondschattens und
6. den scheinbaren Durchmesser des Erdkernschattens um mit diesen beiden nach (2) x zu bestimmen. Zu diesem Zwecke fotografieren wir mehrmals den Mond während der Finsternis, vor allem dann, wenn der Kernschatten rund 60% der Mondoberfläche verdunkelt.

3. Auswertung

Die Deklination δ und die Durchgangszeit T sind für den Mond (nach der Finsternis) und die Sonne (am Nachmittag vor der Finsternis) bestimmt worden, die Finsternisaufnahmen entwickelt. Die Werte für die scheinbaren Radien $q_\odot$ nach (6) und (7) bzw. q_ℓ nach (8) und der für den Mond analogen Formel (7) sind berechnet.

Wir richten nun unser Augenmerk auf die Bestimmung von x . Es gibt zwei Methoden, die zur Berechnung notwendigen Werte q_S und q_ℓ ab Fotografien zu erhalten: eine geometrische und eine arithmetische.

Zuerst die geometrische Methode. Wir vergrössern die Mondaufnahmen möglichst gross auf hartes Papier (je grösser die Vergrösserung, desto kleiner der relative Fehler!). Über die Aufnahme legen wir ein durchsichtiges Papier und kopieren darauf einige Randpunkte von Mond- und Kernschattenrand. Handelt es sich um Dias, projizieren wir sie auf ein weisses Papier an der Wand und markieren hier ebenfalls einige Randpunkte. In beiden Fällen ist darauf zu achten, dass keine Verzer-

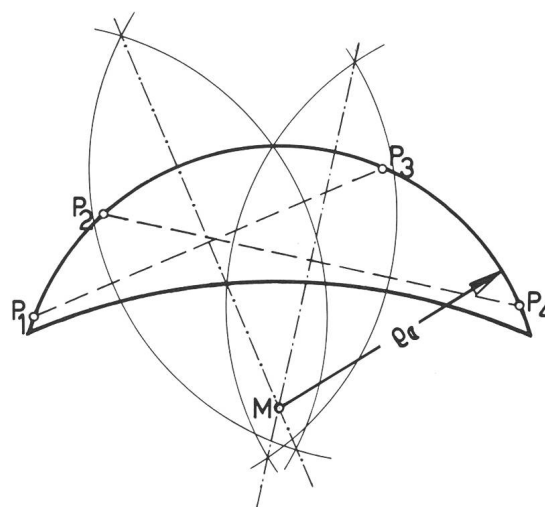


Abb. 2: Skizze zur geometrischen Bestimmung des Mittelpunktes M der Mond- bzw. Schatten-Kreisscheibe bei Kenntnis von vier Randpunkten P_1, P_2, P_3, P_4 .

rungen der Aufnahmen entstehen (z. B. Projektor genau horizontal stellen und optische Achse senkrecht zur Wand ausrichten!). Je zwei möglichst weit auseinanderliegende Punkte verbinden wir mit einer Geraden und errichten darauf die Mittelsenkrechte. Der Schnittpunkt der Mittelsenkrechten liefert uns den Kreismittelpunkt. Den Wert des Radius lesen wir aus der Figur ab (vgl. Abb. 2).

Es ist zu empfehlen, mehrere Schnittpunkte zu bestimmen und als Kreismittelpunkt den Schwerpunkt der verschiedenen Schnittpunkte zu wählen. Höchste Ansprüche sind an die Zeichengenauigkeit zu stellen.

Wesentlich genauer als das geometrische ist das algebraisch-arithmetische Verfahren. Wir gehen von der Gleichung für einen ebenen Kreis mit Radius ϱ und kartesischen Mittelpunktswerten (a, b) aus

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = \varrho^2 \quad (9)$$

Wenn wir in unsere Figur ein kartesisches Koordinatensystem in beliebiger Lage einzeichnen, so enthält die Gleichung (9) drei Unbekannte: a, b, ϱ . Nach allgemeinen Sätzen der Mathematik benötigen wir drei verschiedene Punkte mit ihren Koordinaten, um die drei Unbekannten zu bestimmen. Diese drei Punkte sind:

$$p_1: (x_1, y_1) \quad p_2: (x_2, y_2) \quad p_3: (x_3, y_3) \quad (10)$$

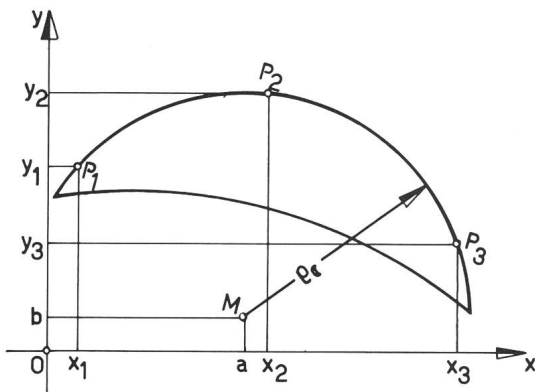


Abb. 3: Skizze zur arithmetischen Bestimmung des Mittelpunktes M der Mond- bzw. Schatten-Kreisscheibe bei Kenntnis der Koordination von drei Randpunkten p_1, p_2, p_3 .

Wie man leicht nachrechnet (Einsetzen der Koordinaten (10) in die Gleichung (9) und Auflösen der Gleichung), findet man für die drei Unbekannten

$$a = \frac{[(x_1^2 + y_1^2)(y_2 - y_3) + (x_2^2 + y_2^2)(y_3 - y_1) + (x_3^2 + y_3^2)(y_1 - y_2)]}{2[(y_2 - y_3)(x_1 - x_2) - (y_1 - y_2)(x_2 - x_3)]} \quad (11)$$

$$b = \frac{[(x_1^2 + y_1^2)(x_2 - x_3) + (x_2^2 + y_2^2)(x_3 - x_1) + (x_3^2 + y_3^2)(x_1 - x_2)]}{2[(y_1 - y_2)(x_2 - x_3) - (y_2 - y_3)(x_1 - x_2)]} \quad (12)$$

$$\varrho = \sqrt{(x_1 - a)^2 + (y_1 - b)^2} = \sqrt{(x_2 - a)^2 + (y_2 - b)^2} = \sqrt{(x_3 - a)^2 + (y_3 - b)^2} \quad (13)$$

Um die drei Punkte p_1, p_2, p_3 , zu erhalten, zeichnen wir in unsere Figur ein xy -Koordinatensystem ein. Oder noch besser, wir projizieren unser Dia oder kopieren unsere Aufnahme auf durchsichtiges Millimeterpapier. Bei sorgfältiger Durchführung ergibt dieses Verfahren für den Amateur eine befriedigende Genauigkeit.

4. Daten

Verschiedene Aufnahmen wurden von mir nach dem oben beschriebenen arithmetischen Verfahren ausgemessen. Tabelle 1 gibt die vollständigen Werte für eine Aufnahme als Beispiel.

Unter Anwendung von (2) erhielt ich die in Tabelle 2 enthaltenen Werte für x .

Da keine Messinstrumente verfügbar waren, konnte die Deklination δ nicht bestimmt werden. Unter diesen Voraussetzungen wurde auf eine Bestimmung von T verzichtet und die Werte für den scheinbaren Sonnen- und Mondurchmesser der Literatur entnommen (WILD, P./NAEF, R. A., 1978):

$$\varrho_{\odot} = 15'54.7'' = 954.7'' \quad (14)$$

$$\varrho_{\text{M}} = 16'15.0'' = 975.0'' \quad (15)$$

Bevor die Entfernung des Mondes berechnet werden konnte, musste (5) wegen (4) noch leicht abgeändert wer-



Abb. 4: Partielle Finsternisphase (vor Eintritt der Totalität; Objektiv: $f = 400$ mm mit 3x Konverter; Aufnahme F. GREUB).

den (vgl. Vorfaktor in 16). Ebenso wurde berücksichtigt, dass der Erdschatten um rund 2% zu gross war, weil die Erdatmosphäre bis in Höhen von 120 km das

Tabelle 1

Objekt	i	p _i	x _i	y _i	a	b	q
Mond	1	p ₁	0.0	+2.18			
	2	p ₂	+3.15	+2.0	+1.39	—1.09	3.56
	3	p ₃	+4.95	—1.1			
	4	p ₄	+0.6	+2.35			
	5	p ₅	+4.0	+1.35	+1.46	—1.02	3.48
	6	p ₆	+4.9	—1.5			
	7	p ₇	+1.25	+2.47			
	8	p ₈	+3.6	+1.7	+1.39	—1.08	3.55
	9	p ₉	+4.92	—0.7			
	10	p ₁₀	+4.8	0.0			
	11	p ₁₁	+4.3	+1.0	+1.45	—1.05	3.51
	12	p ₁₂	+2.5	+2.3			
Schatten	1	p ₁	—0.6	+1.6			
	2	p ₂	+1.7	+0.85	—1.94	—6.40	8.11
	3	p ₃	+4.45	—1.4			
	4	p ₄	—0.2	+1.55			
	5	p ₅	+2.7	+0.2	—2.60	—7.41	9.27
	6	p ₆	+4.1	—1.0			
	7	p ₇	+0.5	+1.4			
	8	p ₈	+2.25	+0.5	—3.59	—8.70	10.90
	9	p ₉	+3.7	—0.6			
	10	p ₁₀	+4.1	—1.0			
	11	p ₁₁	+3.2	—0.2	—4.28	—9.53	11.96
	12	p ₁₂	+1.2	+1.1			

Mittelwerte Mond:
 $\bar{a} = +1.423$
 $\bar{b} = -1.060$
 $\bar{q} = 3.52$

Mittelwerte Schatten:
 $\bar{a} = -3.103$
 $\bar{b} = -8.010$
 $\bar{q} = 10.04$

Die vollständigen Daten der Aufnahme 3 als Beispiel (Mittelpunktskoordinaten; Radien)

Tabelle 2

Nr. der Aufnahme	Objekt	$\bar{q}$	x	Gewicht (= Anzahl Werte)	Entfernung r
1	Mond	3.58	2.82	2	56.68 R
	Schatten	10.09			
2	Mond	3.56	2.89	3	55.63 R
	Schatten	10.29			
3	Mond	3.52	2.85	4	56.18 R
	Schatten	10.04			
4	Mond	3.78	2.22	4	67.31 R
	Schatten	8.38			
5	Mond	3.83	2.42	4	63.30 R
	Schatten	9.27			
6	Mond	3.86	2.88	4	55.84 R
	Schatten	11.10			
7	Mond	3.62	2.77	4	57.36 R
	Schatten	10.04			
8	Mond	20.60	2.74	6	57.85 R
	Schatten	56.48			
9	Mond	20.49	3.34	5	49.88 R
	Schatten	68.39			

Die Daten der neuen Aufnahmen
(Nr. 1—6: Aufnahmen des Verfassers; Nr. 7: Aufnahme von H. LEDL; Nr. 8—9: Aufnahmen von F. GREUB).

Licht nicht durchlässt (ZIMMERMANN, 1969 und SMART, 1971). Dann gilt

$$r = \frac{180^\circ \cdot 3600''/\circ}{\pi} \frac{R}{0.98 \cdot x \cdot \varrho_{\oplus} + \varrho_{\odot} - p_{\odot}} \quad (16)$$

Die verschiedenen Werte für r sind in der Tabelle 2 enthalten. Diese Werte wurden gewichtet gemittelt, wobei die Anzahl der Messtripel als Gewichte diente. Damit erhielt man als mittlere Entfernung des Monds von der Erde zum Zeitpunkt der Mondfinsternis vom 16. September 1978

$$\bar{r} = (57.69 \pm 0.82) R \quad (17)$$

5. Diskussion des Resultates

Einen Tabellenwert für r zum Zeitpunkt der Mondfinsternis habe ich in der Literatur nicht gefunden. Dagegen lässt sich r aus den Angaben im Jahrbuch 1978 von WILD/NAEF zur Kontrolle leicht berechnen:

$$r = 57.5 R \quad (18)$$

Vergleichen wir die beiden Werte (17) und (18), dann fällt deren gute Übereinstimmung auf, besonders wenn man bedenkt, dass (17) mit einfachen Mitteln gefunden wurde.

Es sei in diesem Zusammenhang noch auf zwei wesentliche Fehlerquellen hingewiesen:

- der Schattenrand ist keineswegs eine scharfe Linie — wie es etwa der Mondrand ist — sondern eher verwaschen.
- im Laufe der Rechnungen ergab sich, dass die Reihenfolge der Messpunkte das Resultat beeinflussen kann. Es empfiehlt sich, sie durch Würfel zu bestimmen.

6. Schlussbemerkungen

Es würde mich freuen, wenn der eine oder andere Sternfreund mit seinen Finsternisaufnahmen obige Rechnungen wiederholen würde. Für eine Mitteilung mit dem Re-

sultat und evtl. einer Angabe über Ausrüstung, Genauigkeit etc. wäre ich dankbar.

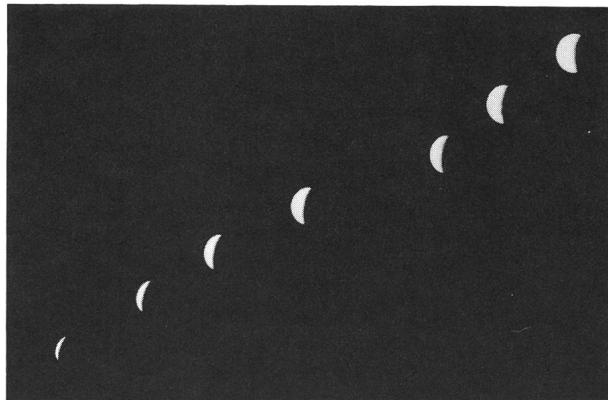


Abb. 5: Austritt des Mondes aus dem Kernschatten (Serieaufnahme; alle 5 Minuten eine Aufnahme; Objektiv $f = 200$ mm; Aufnahme H. LEDL).

Zum guten Gelingen dieses Artikels haben beigetragen: Fräulein R. KEHRLI, Bern, die aus meinen Sätzen lesbares Deutsch geformt hat; die Herren F. GREUB, Attiswil, und H. LEDL, Wangen b./Olten, die mir bereitwillig ihre Finsternisaufnahmen überlassen haben, damit ich meinen Artikel auch entsprechend ausschmücken konnte; die Abschrift des Manuskriptes besorgte Frau Ch. BUCHER-ROTH, Bern.

Referenzliste

- DIE STERNE (1977). Das IAU-System astronomischer Konstanten. Band 53, Heft 4.
WILD P./NAEF R. A. (1978). Der Sternenhimmel. Verlag Sauerländer, Aarau, p. 118—.
SMART W. M. (1969). Text-Book on Spherical Astronomy. Cambridge University Press, Cambridge, p. 380. 5th Edition.
ZIMMERMANN O. (1971). Astronomisches Praktikum I. Sterne und Weltraum, TB 8. Bibliographisches Institut, Mannheim/Wien/Zürich, p. 67—.

Adresse des Verfassers:

ERNST HÜGLI, Zeltstrasse 29, 3027 Bern.

Gesucht: Referenten und Aussteller für die Astro-Tagung 1979

Anlässlich der Astro-Tagung im Herbst 1979 in Burgdorf wird reichlich Gelegenheit für Kurzvorträge geboten. Wer bereit ist, mit einem Referat über Beobachtungen auf dem Gebiet der Amateurastronomie oder über den Instrumentenbau das Tagungsprogramm zu bereichern, wende sich bitte an:

Walter Staub, Meieriedstrasse 28 B, 3400 Burgdorf.

An der im Rahmen der Astro-Tagung durchgeführten Ausstellung vom 20. Oktober bis 4. November ist vorgesehen, Beobachtungsarbeiten und Instrumente von Amateurastronomen auszustellen. Wir bitten daher alle aktiven Beobachter eine kurze Darstellung ihrer Arbeiten einzureichen. Schreibarbeiten, grafische Darstellungen usw. werden nötigenfalls von der Ausstellungsleitung übernommen. Pro Teilnehmer wird eine Ausstellungsfläche von ca. 4 m² vorgesehen. Interessenten melden sich bitte bei:

Werner Lüthi, Lorraine 12 D/16, 3400 Burgdorf.

Einladung zum Stuttgarter-Sonnenseminar 1979

Die Sonnenbeobachter treffen sich zum diesjährigen Seminar vom 25.5. bis 27.5.79 in Stuttgart. Das Seminar wird veranstaltet von der Schwäbischen Sternwarte Stuttgart. Die Teilnehmerzahl ist auf 40 beschränkt, um eine effektive Arbeit zu ermöglichen. Auf dem Programm stehen Einführungsvorträge und Arbeitsgruppen über verschiedene Bereiche der Amateursoronnenbeobachtung.

Der Tagungsort wurde in diesem Jahr in Süddeutschland gewählt, um auch den Sonnenbeobachtern in der Schweiz die Teilnahme zu ermöglichen. Nutzen Sie diese Gelegenheit, Kontakte zu den deutschen Amateuren zu knüpfen!

Interessierte Sternfreunde erhalten Anmeldeformulare sowie weitere Informationen bei:
Schwäbische Sternwarte Stuttgart,
c/o Ulrich Fritz,
Blumenstrasse 22,
D-7052 Schwaikheim.