

Photographische Ortsbestimmungen des Mondes. Von F. Hayn.

Die Ortsbestimmung des Mondes wird um so genauer ausfallen, je größer die Anzahl der Randpunkte ist, aus deren Beobachtung man den Ort des Mittelpunktes herleiten kann. Aus diesem Grunde gewährt die photographische Methode Vorteile, die keine andere Beobachtungsart bieten kann. Kennt man nun noch die Form des Mondrandes, so läßt sich die Genauigkeit noch weiter steigern und hängt dann in der Hauptsache nur noch von der Sicherheit der Sternörter ab. Näheres findet man hierüber in meiner IV. Abhandlung über Selenographische Koordinaten, S. 111 (Bd. 33 der Abh. d. Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wiss.).

Nötig sind also vor allem sichere Fixsternörter; das Instrument soll so lichtstark sein, daß die Sterne in etwa 5^s einen gut meßbaren Eindruck hinterlassen; das Mondlicht muß, um starke Überbelichtung zu vermeiden, in geeigneter Weise gedämpft werden. Da es mir bisher nicht möglich war, Versuche über eine geeignete Art der Dämpfung anzustellen, suchte ich solche Gelegenheiten auszunutzen, bei denen eine Lichtschwächung unnötig war, das sind die gerade jetzt sich darbietenden Konjunktionen des Mondes mit den Plejaden.

Die Aufnahmen wurden mit demselben Instrumente und in derselben Weise hergestellt, wie in der oben zitierten Abhandlung näher beschrieben ist. Die Bewegung des Mondes wurde durch Nachführung der Kassette vermittels eines Uhrwerks unschädlich gemacht; belichtet wurde stets 5^s lang, die Sternbilder sind infolgedessen kleine Ellipsen. Das Öffnen und Schließen des Verschlusses geschah genau nach dem Schläge eines Chronometers.

Auch bezüglich der Ausmessung der Aufnahmen muß ich auf meine Abhandlung verweisen. In möglichster Nähe des Mondzentrums wurde eine feine Marke auf der Platte angebracht. Von diesem Punkte aus wurden dann 44 Radien in je 4° Abstand gemessen, diese Radien nach meiner Randkarte auf mittleres Niveau reduziert, und dann durch eine kleine Ausgleichung der Ort des Mondzentrums gegen die Marke gefunden. Seine Koordinaten sind dann $d\alpha = e \sin \varphi \sec \delta$ und $d\delta = e \cos \varphi$, wo e die Entfernung und φ den Positionswinkel des Mondmittelpunktes bedeuten. Weiter wurden dann Entfernungen und Richtungen von der Marke nach den Sternen gemessen, woraus der Ort der Marke und somit der des Mondzentrums auf ganz einfache Weise zu finden ist. Der Skalenswert wurde aus diesen Plejadenaufnahmen selbst abgeleitet; es ergab sich $1 \text{ mm} = 58''.369$ mit einer Unsicherheit von etwa $0''.002$, sodaß hieraus auch für die größten Distanzen keine größere Unsicherheit entsteht als höchstens $0''.1$. Objektiv sowie Kassette sind natürlich auf das genaueste zentriert; die Fehler des Refraktortriebwerkes sind für den kurzen Zeitraum von 5^s unmerklich, wie genaue Untersuchungen ergeben haben. Die Hauptstörung wird durch veränderliche Refraktion hervorgerufen; die Sternbilder sind nur selten völlig symmetrisch, meist mehr oder weniger birnenförmig. Ebenso wird natürlich der Mondrand aus demselben Grunde deformiert erscheinen. Der Einfluß dieser Fehler kann nur durch die Verbindung von mehreren Aufnahmen vermindert werden.

Leider wurden die Versuche durch die ungünstige Witterung sehr erschwert; 1913 Febr. 14 fand für Leipzig eine Bedeckung vor und bei Sonnenuntergang statt. Ein- oder Austritte konnten nicht beobachtet werden. Während kurzer Zeit war der Himmel völlig klar; es gelangen zwei Aufnahmen von Mond, η und 27 Tauri. Die Bilder sind kräftig, aber etwas deformiert. Während der Konjunktion 1913 Sept. 20 war der Himmel fast völlig bedeckt, nur auf kurze Zeit zerriß die Wolkendecke, sodaß je zwei Ein- und Austritte beobachtet und zwei Platten belichtet werden konnten. Auf diesen sind allerdings nur 17 und η Tauri genügend geschwärzt, die anderen Sternbilder zeigen eben die ersten Anhäufungen des Silberkornes; die Form ist unregelmäßig.

Die so günstige Bedeckung 1913 Dez. 11 ging durch schlechtes Wetter gänzlich verloren.

1914 Febr. 4 fand eine Bedeckung vor Sonnenuntergang statt. Die ersten zwei Platten wurden noch vor, die zwei späteren bei Sonnenuntergang belichtet. Trotz des verschleierte Hintergrundes sind die Mondbilder noch gut und brauchbar, ebenso die von η Tauri, aber von den anderen Sternen sind nur die ersten Spuren zu sehen, und zwar auch nur auf den beiden letzten Platten.

Jeder sichtbare Stern ist aber eingemessen und keiner ausgeschlossen worden; die gute Übereinstimmung zeigt um so mehr die Brauchbarkeit der Methode.

Die relative Lage der Sternörter wurde nach *Bessel*, *Elkin* und *Mason Smith* angenommen (siehe Transactions of the Astronomical Observatory of Yale University, Vol. I, Part VII u. VIII). Für die helleren Sterne bis zur 7. Größe ergibt sich, daß ihre Lage gegen η Tauri als ungeändert angesehen werden darf. Ich nahm daher einfach das Mittel aus den drei Bestimmungen, als Eigenbewegung des Systems das Mittel der von *Boss* in seinem Katalog gegebenen Bewegungen von 17 , η und 27 Tauri, d. h. in $\alpha + 0''.0014$, in $\delta - 0''.050$. Diese Werte sind übrigens auch das Mittel der Eigenbewegungen sämtlicher Plejadensterne, die bei *Boss* vorkommen. Mit diesen Eigenbewegungen wurden die Sternörter auf 1900.0 reduziert, und für die drei genannten Sterne die Differenz gegen *Boss* gebildet, das Mittel aber als Reduktion auf *Boss* an sämtliche Sternörter angebracht.

Übrigens gilt hier für das Mittel aus allen Sternen dasselbe wie oben bei den Eigenbewegungen. Auf diese Weise fand ich die weiterhin angegebenen Koordinaten; zur Vergleichung sind in Spalte 3 und 5 die Werte nach *Boss* gegeben. Die drei Ausmessungen mit dem Heliometer zeigen eine bemerkenswerte Übereinstimmung, sodaß die mitgeteilten Positionen, vor allem relativ, eine große Genauigkeit besitzen.

Die scheinbaren Koordinaten der Sterne wurden in aller Schärfe mit Berücksichtigung der rasch veränderlichen Mondglieder berechnet. Die Ableitung des Mondortes erfolgte zuerst mit den Sternörtern des Berliner Jahrbuchs. Die Darstellung der Beobachtungen ließ aber dabei vieles zu wünschen übrig. Mit den unten gegebenen Positionen wurde die innere Übereinstimmung ganz wesentlich besser, an sich schon ein Beweis für die Brauchbarkeit der noch nicht ganz befriedigenden Aufnahmen.

	α 1900.0	Boss	δ 1900.0	Boss
16 Tauri	3 ^h 38 ^m 51 ^s 416	5446	+23° 58' 29".69	29".36
17 »	38 56.135	.129	23 47 56.16	56.22
18 »	39 11.623	.611	24 31 31.51	31.33
19 »	39 15.224	.178	24 9 12.56	12.63
20 »	39 52.467	.492	24 3 18.87	18.99
21 »	39 56.906	.890	24 14 31.83	32.20
22 »	40 5.376	—	24 12 56.88	—
23 »	40 23.347	.355	23 38 12.67	12.40
η »	41 32.309	.308	23 47 45.44	45.44
27 »	43 12.858	.865	23 44 51.57	51.52
28 »	43 14.121	.132	23 49 51.78	52.06

Scheinbare Örter

	1913 Febr. 14,	1913 Sept. 20,	1914 Febr. 4.
17 Tauri	3 ^h 39 ^m —	45° 61' 46".77	+23° 50' — 43° 1' 49".0
19 »	40 —	4.81 5.98	+24 11 — 59.1 65.2
20 »	40 —	42.03 43.21	+24 6 — 4.8 10.9
21 »	40 —	46.53 —	+24 17 — 17.6 —
23 »	41 —	12.79 —	+23 40 — 58.2 —
η »	42 18° 90'	21.82 23.02	+23 50 23".0 29.8 35.7
27 »	43 59.48	— —	+23 47 27.6 — —

Der scheinbare Ort von 21 Tauri ist hier mitgeteilt, weil seine Bedeckung beobachtet wurde.

Die nun folgende Tabelle gibt die Berechnung des scheinbaren Mondortes und die Vergleichung mit der Ephemeride des Nautical Almanac. Bei dem berechneten scheinbaren Ort ist noch die Abhängigkeit von der angenommenen Parallaxe angegeben, und zwar für eine Änderung von +1". Obwohl die Sicherheit der Messung bei den einzelnen Sternen je nach ihrem Aussehen sehr verschieden war, ist doch jedem einzelnen Mondort das gleiche Gewicht erteilt worden, und ebenso jedem Plattenmittel. Nur so wird der Einfluß der Verzerrung durch Luftschlieren vermindert.

Datum	M. E. Z.	*	$\alpha_{\zeta} - \alpha_*$	$\delta_{\zeta} - \delta_*$	α_{ζ} beob.	δ_{ζ} beob.	α_{ζ} ber.	δ_{ζ} ber.	B-R
1913 Febr. 14	5 ^h 42 ^m 28 ^s 3	η	+3 ^m 13 ^s 61	— 1' 51".1	3 ^h 45 ^m 32 ^s 51	+23° 48' 31".9	31° 60' + 0° 007 d π	30° 2' — 0° 46 d π	+0° 91' + 1".7
		27	+1 33.03	+ 1 4.2	32.51	31.8			+0.91 + 1.6
	5 50 55.8	η	+3 27.42	— 0 30.8	3 45 46.32	+23 49 52.2	45.50 + 0.006 d π	50.4 — 0.46 d π	+0.82 + 1.8
1913 Sept. 20	15 8 0.3	27	+1 46.87	+ 2 24.7	46.35	52.3			+0.85 + 1.9
		17	+2 8.23	+17 3.2	3 41 53.84	+24 7 46.3	53.02 + 0.009 d π	44.1 — 0.46 d π	+0.82 + 2.2
		20	+1 11.83	+ 1 41.9	53.86	46.7			+0.84 + 2.6
		η	— 0 27.95	+17 16.6	53.87	46.4			+0.85 + 2.3
	15 10 46.1	17	+2 12.62	+17 27.6	3 41 58.23	+24 8 10.7	57.33 + 0.009 d π	9.0 — 0.46 d π	+0.90 + 1.7
		19	+1 53.36	— 3 48.1	58.17	11.0			+0.84 + 2.0
		20	+1 16.18	+ 2 6.2	58.21	11.0			+0.88 + 2.0
		23	+0 45.43	+27 12.5	58.22	10.7			+0.89 + 1.7
1914 Febr. 4	4 24 40.8	η	— 0 23.59	+17 41.0	58.23	10.8			+0.90 + 1.8
		η	— 0 41.5*	+23 1.1	—	+24 14 36.8	—	34.2 — 0.51 d π	— + 2.6
	4 28 40.8	η	— 0 34.8*	+24 42.0	—	+24 15 17.7	—	14.8 — 0.50 d π	— + 2.9
	4 46 0.8	17	+2 30.29	+27 22.7	3 42 17.06	+24 18 11.7	16.23 + 0.025 d π	8.4 — 0.49 d π	+0.83 + 3.3
		19	+2 11.07	+ 6 5.8	17.05	11.0			+0.82 + 2.6
		20	+1 33.86	+12 0.8	17.07	11.7			+0.84 + 3.3
		η	— 0 5.92	+27 35.7	17.10	11.4			+0.87 + 3.0
	4 49 0.8	17	+2 35.26	+27 51.7	3 42 22.03	+24 18 40.7	21.18 + 0.024 d π	38.1 — 0.49 d π	+0.85 + 2.6
		19	+2 15.99	+ 6 35.4	21.97	40.6			+0.79 + 2.5
		20	+1 38.80	+12 29.8	22.01	40.7			+0.83 + 2.6
		η	— 0 0.99	+28 5.0	22.03	40.7			+0.85 + 2.6

* $\alpha_{\zeta} - \alpha_*$ angenommen, da ein Stern nicht zur Orientierung der Platte genügt.

Der Vollständigkeit halber führe ich im folgenden auch das Ergebnis der Ortsbestimmung 1912 April 17 (A. N. 4615) an. Die Korrekturen der Ephemeride sind:

Datum	m. Z. Gr.	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
1912 April 17	0 ^h 5	+0° 69' + 0° 014 d π	+4".5 + 0".66 d π
1913 Febr. 14	4.8	+0.87 — 0.006	+1.8 + 0.46
1913 Sept. 20	14.2	+0.85 — 0.009	+2.1 + 0.46
1914 Febr. 4	3.8	+0.84 — 0.025	+2.8 + 0.50

Da die Hansensche Parallaxe nach neueren Untersuchungen etwa 0".4 zu klein ist, so darf man für die vier Beobachtungstage annehmen:

Datum	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	$\Delta\lambda$	$\Delta\beta$
1912 April 17	+10".4	+4".8	+11".2	+0".8
1913 Febr. 14	+13.0	+2.0	+12.1	— 0.9
1913 Sept. 20	+12.7	+2.3	+11.8	— 0.5
1914 Febr. 4	+12.3	+3.0	+11.6	+0.3

Aus dem Verlauf der Korrekturen in Länge und Breite darf man schließen, daß sie kleinen Schwankungen kürzerer Periode unterworfen sind. Solange diese nicht bekannt sind, läßt sich die Korrektur der Ephemeride nicht genau voraussagen und z. B. nur vermuten, daß während der Sonnenfinsternis 1914 August 21 die Korrekturen $\Delta\lambda = +12"$, $\Delta\beta = 0"$ sind, also $\Delta\alpha = +11".5$, $\Delta\delta = -4"$.

Daß im allgemeinen die Schwankungen nicht durch Fehler der Randkarte erzeugt worden sind, geht daraus hervor, daß die optische Libration für 1913 Febr. 14 und 1914 Febr. 4 nahezu die gleiche war, und demnach auch fast dieselben Stellen des Randes eingemessen worden sind. Eine zufällige Differenz von 1".2 dürfte aber nach den folgenden Genauigkeitsangaben ausgeschlossen sein.

Die Koordinaten des Mondzentrums gegen die Zentralmarke sind auf den 8 Platten die folgenden:

		$\epsilon \sin \varphi$	$\epsilon \cos \varphi$
1913 Febr. 14	5 ^h 42 ^m	+2.7 ± 0.15	+0.6 ± 0.07
	5 51	+2.5 14	+2.4 6
1913 Sept. 20	15 8	-3.5 17	+0.3 8
	15 11	-2.6 17	+0.8 9
1914 Febr. 4	4 25	-5.2 20	+2.6 9
	4 29	-6.6 18	-4.8 8
	4 46	-4.2 16	-1.4 7
	4 49	-2.8 18	+3.4 8

Die mittleren Fehler zeigen, daß die Bestimmung von α doppelt so ungenau ist als die von δ ; dies liegt in der Aufgabe begründet, das Zentrum eines Halbkreises zu ermitteln, dessen Radius unbekannt ist. Auf den Platten von Sept. 20 wurden 88 statt 44 Radien gemessen, um die gewünschte Genauigkeit zu erhalten. Die Bestimmung des Zentrums war hier aus dem Grunde unsicherer, weil für einen beträchtlichen Teil des Mondrandes die Korrekturen nicht direkt aus der Karte entnommen, sondern nur genähert extrapoliert werden konnten.

Die hier behandelten Mondaufnahmen haben übrigens erfreulicherweise Material geliefert, um einige fühlbare Lücken meiner Mondkarte auszufüllen.

Aus der Übereinstimmung der Werte B—R eines Tages erhält man für einen Anschluß des Mondes an einen Stern die m. F. ± 0.46 und ± 0.30 . Damit werden die Fehler für eine Platte mit 4 Sternen ± 0.23 und ± 0.15 , und für ein Abendmittel aus zwei Platten kann daher abgerundet angenommen werden ± 0.2 und ± 0.1 . Es ist also trotz der schlechten Sternbilder eine befriedigende Genauigkeit erreicht

worden. Freilich liegt hier der günstige Umstand vor, daß die gegenseitige Lage der Sterne so genau bekannt ist, wie an keiner anderen Stelle des Himmels. Man kann allerdings jetzt ziemlich leicht für jede Sterngruppe dasselbe erreichen, wenn man gute Aufnahmen derselben herstellt und sorgfältig ausmißt. Die photographischen Ortsbestimmungen des Mondes erfordern zwar ziemlich viel Meßarbeit, dem steht aber als Gewinn gegenüber, daß man die systematischen Fehler auf ein so geringes Maß herabdrücken kann, wie auf keine andere Weise. Photographische Anschlüsse des Mondes an die Plejaden, verbunden mit Beobachtungen der zugehörigen Bedeckungen, bieten aber noch ein ganz besonderes Interesse; sie gewähren interessante und wichtige Aufschlüsse über den Mondradius und die Fehler, die den Beobachtungen von Sternbedeckungen anhaften, und bieten ein gutes Kriterium, ob die Karte des Mondrandes selbst wieder frei von systematischen Fehlern ist.

Wenn solche Ortsbestimmungen auch keineswegs die laufenden Beobachtungen am Meridiänkreis ersetzen können, so werden sie doch die Möglichkeit bieten, die systematischen Fehler dieser Beobachtungen zu ermitteln und in Rechnung zu ziehen.

Leipzig, 1914 März.

F. Hayn.

Zusatz des Verfassers: Da ich beabsichtige, die Plejadenbedeckungen der jetzigen Periode einheitlich zu bearbeiten, wäre ich den Beobachtern dankbar für baldige Mitteilung ihrer Beobachtungen an meine Adresse oder an die Astr. Nachr. mit genauer Angabe alles dessen, was zur Reduktion und Beurteilung der Beobachtungen notwendig ist.

Sternbedeckungen durch den Mond.

1) beobachtet auf der Engelhardt-Sternwarte.

Nr.	1912	Stern	Ph.	M. Z. Eng.	Instr.	Bb.	Bm.
1	Jan. 1	BAC 1189	Ed	6 ^h 18 ^m 28.57*	A	Br	
2	"	"	"	28.73	H	Bn	1
3	"	"	Ah	7 4 43.96*	A	Br	2
4	"	32 Tauri	Ed	9 30 46.42*	F	G	
5	"	"	"	46.45*	A	Br	2
6	"	"	"	46.27	H	Bn	
7	"	"	Ah	10 18 59.98*	A	Br	
8	"	BAC 1238	Ed	11 50 12.82*	A	Br	3
9	Sept. 2	ζ Arietis	Eh	15 4 49.82	A	Br	
10	"	"	Ad	15 29 57.92	A	Br	4
11	Sept. 3	36 Tauri	Eh	11 26 36.23	F	G	
12	"	"	Ad	12 22 33.19*	F	G	
13	"	"	"	32.93*	A	Br	
14	"	"	"	32.53	A	Br	
15	"	"	"	32.51	H	Bn	
16	Okt. 2	BAC 1848	Ad	12 24 7.23	H	Bn	
17	Nov. 19	24 Piscium	Ed	4 59 50.65	F	G	5
18	"	"	"	50.82*	A	Br	
19	"	"	"	50.32	A	Br	
1913							
20	Febr. 16	BAC 1848	Ed	7 53 35.44	A	G	4
21	"	"	"	34.93*	F	Bn	
22	"	"	Ah	8 51 8.45	A	G	4
23	Febr. 17	47 Gemin.	Ed	14 35 56.02	A	G	5

Nr.	1913	Stern	Ph.	M. Z. Eng.	Instr.	Bb.	Bm.
24	Febr. 17	47 Gemin.	Ed	14 ^h 35 ^m 56.63*	F	Bn	
25	"	"	Ah	15 27 51.86	F	G	8
26	März 16	49 Aurigae	Ed	9 4 35.30	F	G	5
27	Juli 22	BAC 8184	Ad	11 1 48.46	H	Bn	9
28	Okt. 21	47 Gemin.	Eh	11 18 25.64	F	G	5
29	"	"	Ad	12 12 19.47	F	G	5

Plejadenbedeckung 1913 Febr. 14.

Nr.	Stern	Ph.	M. Z. Eng.	Instr.	Bb.	Bm.
1	23 Tauri	Ed	5 ^h 59 ^m 7.81*	A	G	5
2	"	"	7.63	F	Bn	
3	Anon. 17	Ed	6 11 33.15*	A	G	6
4	η Tauri	Ed	6 53 0.99*	A	G	7
5	"	"	1.11*	F	Bn	
6	27 f Tauri	Ed	7 23 9.03*	A	G	5
7	"	"	9.13*	F	Bn	
8	η Tauri	Ah	7 26 45.61*	A	G	5
9	28 h Tauri	Ed	7 32 30.57*	A	G	5
10	"	"	30.51	F	Bn	
11	Anon. 38	Ed	7 48 37.63*	A	G	5
12	"	"	37.85*	F	Bn	
13	Anon. 33	Ed	7 59 44.48*	A	G	10
14	"	"	44.34	F	Bn	
15	Anon. 40	Ed	8 16 2.69	F	Bn	
16	28 h Tauri	Ah	8 33 36.78	A	G	4
17	27 f Tauri	"	8 34 40.77	A	G	