Photometrische Beobachtungen während der Sonnenfinsternis vom 17. April 1912.

Von **L. Weber** und **H. Borchardt.**

Während der Sonnenfinsternis vom 17. April d. Js. wurde am physikalischen Institut zu Kiel eine Reihe von Beobachtungen der Sonnenhelligkeit und der Helligkeit des diffusen Tageslichtes angestellt, über die im folgenden kurz referiert werden soll.

Die Beobachtungen der Sonnenhelligkeit fanden in einem Zimmer des Institutes statt, von dessen Fenster aus die Anvisierung der Sonnenscheibe während der ganzen Dauer der Finsternis möglich war. Gleichzeitig erfolgten auf der Plattform des Institutsturmes in dem bereits früher[1]) beschriebenen Photometerhäuschen Messungen der Helligkeit des diffusen Tageslichtes. Von beiden Beobachtern wurden die Einstellungen mit vorgeschlagenen farbigen Okulargläsern ausgeführt und die Helligkeiten der Sonne und des diffusen Tageslichtes innerhalb je eines ziemlich ausgedehnten Spektralbezirkes im Grün und Rot bestimmt. Sämtliche Versuche wurden mit dem Milchglasplatten-Photometer von L. Weber angestellt, wobei für die Messung der Sonnenhelligkeit nach einem ähnlichen Verfahren[2]), wie es Herr C. Diercks benutzte, an dem Photometertubus eine Verlängerung angebracht wurde, die es gestattete, ein genügend kleines Stück, nur wenig größer als die Sonnenscheibe, aus dem Himmelsgewölbe auszublenden.

Die Einstellung auf die Sonnenscheibe erfolgte mit der Hand unter Benutzung der am Photometer angebrachten Visiereinrichtung. Nach den Ergebnissen der von Herrn C. Diercks angestellten Versuche konnte die Helligkeit des um die Sonnenscheibe mit ausgeblendeten ringförmigen Bezirkes gegenüber der Sonnenhelligkeit selbst vollkommen vernachlässigt werden.

---

[1]) Schrift. d. Nat. Ver. f. Schlesw.-Holst., Bd. XIV, 2.

[2]) C. Diercks, Inaug.-Diss., Kiel 1912.

Die Helligkeit des diffusen Tageslichtes wurde in der gewöhnlichen Weise bestimmt, wie sie am Kieler physikalischen Institut seit ca. 20 Jahren durchgeführt wird.

Die Beobachtungen, die wir in möglichst großer Zahl anzustellen suchten, wurden von der Witterung außerordentlich begünstigt; erst gegen Ende der Finsternis erschienen am südwestlichen Horizont einige kleine Cumuli, die sich jedoch in so geringer Höhe hielten, daß die Helligkeit des diffusen Tageslichtes dadurch kaum beeinflußt sein dürfte. Der Himmel erschien sonst vollkommen klar, wenn auch die Resultate unserer Versuche zeigten, daß bisweilen unsichtbare Zirruswolken vor die Sonnenscheibe zogen.

In der Tabelle I sind zunächst die Messungsergebnisse der Sonnenhelligkeit verzeichnet; die Zeit ist hier, wie auch in allen folgenden Angaben mit Ausnahme der Tabelle V, mitteleuropäische Zeit und wurde durch telephonische Verbindung mit der Hamburger Sternwarte unter Berücksichtigung des später von dort gemeldeten kleinen Fehlers von + 0.6 Sekunden kontrolliert, nachdem zuvor die richtige Zeit von der Kieler Sternwarte gegeben wurde.

Die Verhältnisse der Helligkeiten im Rot und Grün sind in dieser Tabelle nicht aufgeführt; es hätte nahegelegen, jeden beobachteten Helligkeitswert im Grün mit dem vorhergehenden und folgenden Helligkeitswert im Rot zu kombinieren, aus den resultierenden beiden Quotienten h_g/h_r das Mittel zu nehmen und letzteres als Helligkeitsverhältnis in beiden Farben für die Dauer der drei Beobachtungen anzusehen. Die Durchführung dieser Methode ergab jedoch eine unregelmäßige und sprunghafte Änderung der Quotienten, die sich hauptsächlich aus den untereinander verschiedenen Zeitabständen der benutzten drei Beobachtungen erklärte. Das Verfahren wäre ferner nicht anwendbar gewesen, wenn, wie es hier gegen das Maximum der Verfinsterung hin der Fall war, eine größere Zahl Ablesungen am Photometer in der einen Farbe, etwa im Rot, gemacht wurden, während vor- und nachher nur eine Ablesung im Grün erfolgte.

Um über das Verhältnis h_g/h_r und seinen Gang während der Verfinsterung einigen Aufschluß zu erhalten, wurde aus den Beobachtungen im Rot und Grün durch graphische Ausgleichung je eine Kurve hergestellt und aus diesen Kurven für dieselbe Zeit das Verhältnis der Helligkeit im Grün zur Helligkeit im Rot als Quotient der entsprechenden Ordinaten entnommen. Diese ausgeglichenen Beobachtungszahlen und die zugehörigen h_g/h_r Werte sind in der folgenden Tabelle II verzeichnet.

Tabelle I.

Beobachtete Helligkeiten im Rot und Grün in 1000 Meterkerzen.

M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün	M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün
11h 30′ 07″	55.62		12h 24′ 48″		142.80
30′ 35″		182.70	25′ 29″	47.61	
31′ 27″	52.58		26′ 16″		157.10
31′ 49″		168.30	26′ 56″	48.38	
32′ 17″	57.15		27′ 21″		153.00
42′ 20″	55.99		29′ 56″		149.80
42′ 50″		169.00	30′ 26″	50.49	
43′ 17″	52.04		31′ 07″		133.80
43′ 45″		162.60	31′ 44″	45.50	
44′ 17″	51.81		32′ 33″		126.60
55′ 49″		167.60	33′ 13″	44.63	
56′ 26″	52.18		34′ 12″		111.60
56′ 56″		162.90	34′ 44″	48.10	
57′ 25″	51.65		35′ 19″		122.20
57′ 58″		157.70	35′ 57″	34.75	
12h 1′ 00″		167.60	36′ 26″		119.00
1′ 37″	53.69		37′ 04″	31.94	
1′ 58″		166.20	37′ 40″		102.00
2′ 33″	55.03		39′ 09″	31.84	
3′ 00″		172.20	39′ 49″		99.98
4′ 52″		167.60	40′ 30″	31.93	
5′ 42″	57.78		42′ 29″		94.67
6′ 24″[1]		162.90	42′ 49″	32.37	
7′ 18″	53.02		43′ 20″		108.20
7′ 49″		168.70	44′ 04″	28.93	
8′ 23″	52.25		44′ 30″		100.50
9′ 08″		160.90	46′ 00″	25.84	
10′ 29″	53.08		46′ 31″		93.22
11′ 04″		165.60	47′ 08″	25.54	
11′ 37″	54.85		47′ 47″		96.89
12′ 02″		158.80	48′ 47″	25.68	
12′ 52″	49.17		49′ 25″		91.54
13′ 16″		159.70	50′ 03″	25.05	
13′ 51″	49.47		51′ 22″		91.33
14′ 32″		162.90	51′ 57″	24.29	
15′ 08″	51.98		52′ 35″		80.17
15′ 37″		162.60	54′ 12″		79.80
16′ 45″	47.85		54′ 42″	25.68	
17′ 33″		153.80	55′ 07″		77.20
18′ 32″	47.38		55′ 34″	23.96	
20′ 46″		147.40	56′ 04″		72.78
21′ 28″	47.57		56′ 31″	24.38	
21′ 59″		158.20	56′ 58″		72.64
22′ 53″		140.70	57′ 27″	22.95	
23′ 23″	49.10		58′ 10″		69.47
23′ 47″		137.40	58′ 41″	21.88	

[1]) Beginn der Verfinsterung.

Tabelle I. 1. Fortsetz.

M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün	M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün
12h 59′ 10″		65.71	1h 36′ 22″	8.66	
1h 1′ 07″	19.39		36′ 53″		29.42
1′ 58″		58.80	38′ 28″	10.37	
3′ 10″	17.65		39′ 00″		38.32
3′ 42″		53.72	39′ 21″	11.39	
4′ 13″	17.08		39′ 49″		40.14
4′ 48″		51.99	41′ 04″	13.52	
5′ 41″	15.63		41′ 28″		34.71
6′ 23″		49.80	47′ 05″		52.75
8′ 17″	12.22		48′ 16″		55.03
9′ 02″		37.84	54′ 40″		74.37
9′ 35″	13.28		53′ 05″	23.06	
10′ 07″		35.23	55′ 30″		75.68
10′ 37″	11.70		56′ 49″		79.63
12′ 00″		26.05	57′ 43″	26.28	
12′ 20″	8.56		58′ 22″		83.85
12′ 48″		27.00	59′ 48″	28.56	
13′ 12″	9.29		2h 0′ 41″		87.70
15′ 00″		23.55	1′ 36″	28.56	
15′ 30″	7.06		2′ 58″		96.16
16′ 05″		21.22	4′ 33″	31.28	
16′ 41″	5.93		5′ 06″		99.45
17′ 23″		16.67	5′ 32″	35.81	
18′ 11″	5.38		5′ 58″		99.52
20′ 00″		12.64	6′ 35″	36.99	
20′ 21″	3.92		7′ 07″		97.39
20′ 50″		10.31	7′ 49″	41.37	
21′ 31″		6.49	8′ 25″		99.98
21′ 50″		6.82	9′ 06″	41.49	
22′ 16″		4.96	9′ 51″		94.56
23′ 52″	1.55		10′ 33″	43.32	
24′ 18″		4.04	11′ 01″		102.40
24′ 40″		3.96	11′ 33″	44.94	
25′ 06″		3.90	12′ 27″		91.35
26′ 20″		4.54	13′ 10″	42.99	
26′ 43″		4.97	13′ 40″		107.60
27′ 06″		5.06	14′ 08″	45.59	
27′ 36″		5.64	16′ 17″		135.10
27′ 57″		6.32	17′ 12″	40.36	
28′ 25″	3.01		17′ 42″		128.70
28′ 50″		7.75	18′ 28″	37.45	
30′ 04″		10.44	19′ 18″		130.60
30′ 56″	4.61		19′ 51″	39.48	
31′ 28″		14.46	20′ 25″		126.40
32′ 00″	4.19		21′ 29″	40.17	
32′ 38″		17.96	22′ 03″		137.00
33′ 16″	6.16		23′ 02″	40.47	
33′ 42″		19.87	23′ 33″		137.00
34′ 26″	7.06		24′ 07″	42.30	
34′ 48″		22.56	24′ 44″		136.30
35′ 27″	7.79		25′ 22″	42.54	
35′ 52″		24.60	26′ 00″		138.40

2. Fortsetz. Tabelle I.

M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün	M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün
2h 27′ 33″	42.67		2h 38′ 28″	49.73	
28′ 18″		136.10	39′ 00″		154.30
30′ 09″	43.74		39′ 33″	51.23	
30′ 50″		147.20	40′ 03″		152.70
31′ 30″	46.77		40′ 39″	47.85	
31′ 55″		143.90	41′ 13″		154.10
33′ 02″	44.37		41′ 46″	50.80	
33′ 45″		138.40	42′ 16″		158.80
34′ 34″	47.33		43′ 01″	50.34	
35′ 06″		154.60	43′ 19″		160.00
35′ 45″	47.81				
36′ 11″		148.50			
37′ 50″		159.70			

Tabelle II.

Ausgeglichene Beobachtungen und daraus abgeleitete h_g/h_r-Werte.

M. E. Zeit	h_g ausgeglichene Beobachtungen	h_r ausgeglichene Beobachtungen	h_g/h_r ausgeglichene Beobachtungen
12h 0′	167.5	55.0	3.05
5′	166.0	54.5	3.05
10′	163.5	53.5	3.06
15′	159.5	52.0	3.08
20′	154.0	49.0	3.14
25′	146.0	46.0	3.17
30′	133.0	42.5	3.13
35′	119.0	38.5	3.09
40′	104.5	34.0	3.07
45′	94.0	30.0	3.13
50′	84.5	26.5	3.19
55′	75.0	23.0	3.26
1h 0′	64.5	20.0	3.23
5′	50.5	16.0	3.16
10′	37.0	12.0	3.01
15′	22.5	7.5	3.00
20′	10.5	3.5	3.00
25′	4.0	1.5	2.67
30′	9.0	3.0	3.00
35′	23.0	7.5	3.07
40′	37.5	12.0	3.13
45′	51.0	16.0	3.19
50′	62.5	20.0	3.13
55′	74.0	24.0	3.08

Tabelle II. Fortsetz.

M. E. Zeit	h_g ausgeglichene Beobachtungen	h_r ausgeglichene Beobachtungen	h_g/h_r ausgeglichene Beobachtungen
2h 0′	84.5	28.5	2.97
5′	94.0	33.0	2.85
10′	104.5	36.5	2.80
15′	115.0	39.5	2.91
20′	127.0	41.5	3.06
25′	138.5	43.5	3.18
30′	146.5	45.0	3.26
35′	154.0	47.0	3.28
40′	159.5	49.5	3.22
45′	162.0	52.0	3.12

Die Verhältniszahlen h_g/h_r erscheinen bei unseren Beobachtungen durch verschiedene Faktoren beeinflußt. Sehen wir einmal von der Verfinsterung der Sonne durch den vorbeiziehenden Mond ab, so müßten allein wegen der veränderlichen Sonnenhöhe die Quotienten h_g/h_r sich mit der Zeit geändert haben, weil der Transmissionskoeffizient der Luft für grüne Strahlen einen kleineren Wert besitzt, als für rotes Licht, und daher bei verschiedener Sonnenhöhe einen veränderlichen Einfluß auf das Verhältnis h_g/h_r ausübt. C. Dorno (Davos) hat für direkte Sonnenstrahlung an absolut wolkenfreien Tagen den Wert des Quotienten h_g/h_r als Funktion der Sonnenhöhe im Jahresmittel angegeben. Er findet folgende Werte:

Tabelle III.

Sonnenhöhe	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
h_g/h_r	2.88	2.96	2.99	2.99	2.98	3.01	3.02	3.03	3.03	3.02	3.05	3.08

Da der Beginn unserer hier mitgeteilten Beobachtungen einige Zeit vor dem höchsten Sonnenstande liegt, müßten die Quotienten h_g/h_r zuerst etwas zu- und dann dauernd abnehmen. Allerdings ist dieser Einfluß nur sehr gering, weil ausschließlich große Sonnenhöhen in Betracht kommen, bei denen sich h_g/h_r wenig ändert. Aus unseren Zahlen ist daher auch kein sicherer Schluß über diese Änderung zu ziehen; schon vor Beginn der Verfinsterung treten Schwankungen bis zu 14% in der Größe der Quotienten auf.

Der andere Faktor, welcher das Verhältnis der Helligkeiten im Grünen und Roten beeinflußt, ist durch die zunehmende Verfinsterung selbst gegeben. Nach den Ermittelungen, die H. C.

Vogel[1]) angestellt hat, ist die Helligkeit eines Flächenelementes der Sonnenscheibe eine für verschiedene Wellenlängen verschieden stark abnehmende Funktion des Abstandes vom Mittelpunkte der Sonne.

Die H. C. Vogel'schen relativen Werte für die unseren Rot- und Grün-Beobachtungen angenähert entsprechenden Wellenlängen sind:

Helligkeiten in den Zentralabständen in korrigierten Minuten[2]).

Zentralabstand	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Rot 662	100	100	100	99.5	99	98.5	98	97.5	96.5	95	93	90	86	79	70	49	
Grün 470	100	100	99.5	98.5	97.5	96	94.5	92.5	90	87	84	79	74	67	57	39	

Hieraus ist ersichtlich, daß die Helligkeit im Grün nach dem Sonnenrande zu erheblich stärker abnimmt als im Rot. Beim Vorübergang des Mondes vor der Sonne werden daher anfangs mehr rote Strahlen abgeblendet, während gegen das Maximum der Verfinsterung hin die Helligkeit im Rot relativ bedeutend größer werden würde, so daß also nach Beginn der Finsternis die Quotienten h_g/h_r zunächst langsam wachsen, bald einen Höchstwert erreichen und schon vor der halben Verfinsterung auf den normalen Wert zurückgehen würden, um gegen das Maximum der Sonnenbedeckung schnell abzunehmen. Ein derartiger Gang läßt sich nun im großen und ganzen aus der Reihe der Verhältniszahlen in Kolumne IV pag. 273, Tabelle II, ersehen, wenn man von den vorübergehenden Störungen, die offenbar auf vorbeiziehende Zirruswölkchen zurückzuführen sind, absieht.

Am deutlichsten tritt diese verschieden starke Abnahme des roten und grünen Lichtes nach dem Rande der Sonne zu hervor, wenn man die Gesamtabnahme des Lichtes zur Zeit der größten Verfinsterung aufsucht. Zu dieser Zeit ist nur Licht vorhanden, welches von einer sehr schmalen Randzone der Sonnenscheibe ausgeht, und die Tab. I zeigt in der Tat, daß das rote Licht im Verhältnis von 37,3 : 1, das grüne dagegen in dem merklich stärkeren Verhältnis von 44,2 : 1 zurückgegangen ist.

Abgesehen von dieser in den Hauptzügen vorhandenen Übereinstimmung der Vogel'schen Zahlen mit den beobachteten Hellig-

[1]) H. C. Vogel, „Spektralphotometrische Untersuchungen".

[2]) Der Sonnendurchmesser = 32 korrigierter Minuten gesetzt.

keitswerten gestatten nun aber unsere Beobachtungen einen noch wesentlich genaueren Vergleich. Freilich stößt die unmittelbare Herleitung der die Helligkeitsabnahme der Sonnenscheibe von der Mitte nach dem Rande zu darstellenden Funktion f (r) auf sehr beträchtliche rechnerische Schwierigkeiten. Dagegen läßt sich für jede Phase der Verfinsterung unter Zugrundelegung der Vogel'schen Funktion f (r) und Berechnung der Sichelgröße die Intensität des Sonnenlichtes bestimmen. Diese berechneten Werte müssen dann mit den unmittelbar beobachteten übereinstimmen, falls die Funktion f (r) richtig gewählt ist.

Zu solcher Berechnung muß das Integral

$$\int_{\vartheta}^{2\pi-\vartheta} \int_{0}^{R} r \cdot f(r)\, dr \cdot d\vartheta$$

ausgeführt werden, in dem ϑ eine Funktion von r ist, wie etwa aus Fig. 1 leicht ersichtlich ist, falls für α_1 oder α_2 die Bezeichnung ϑ, für r_1 oder r_2 der Buchstabe r gesetzt wird. Das von A. Werner[1]) eingeschlagene Integrationsverfahren, welches auf eine Reihenberechnung hinausläuft, dürfte wenig Erleichterung gegenüber der zonenweisen Auswertung mit Benutzung der Vogel'schen Zahlen bieten, wie sie von uns ausgeführt wurde.

Der Berechnung wurde die Annahme zugrunde gelegt, daß die Durchmesser der Sonne und des Mondes gleich groß seien. Wird die Zentraldistanz von Sonne und Mond kleiner als 32 korrigierte Bogenminuten, so beginnt die Mondscheibe den Sonnenrand zu verdecken. Alsdann können wir bei einer beliebigen Stellung von Sonne und Mond zueinander uns die sichelförmige, nicht abgeblendete Fläche in Zonen zerlegt denken, die von konzentrischen Kreisen um die Sonnenmitte und von Teilen der Randlinie des Mondes begrenzt sind. Die Größe einer solchen Zone bestimmt sich nach der Formel:

$$Z = \pi\{r_2^2 - r_1^2\} + r_1^2\{\alpha_1 - \sin\alpha_1 \cos\alpha_1\} - r_2^2\{\alpha_2 - \sin\alpha_2 \cos\alpha_2\}$$
$$+ R^2\{\varphi_1 - \sin\varphi_1 \cos\varphi_1\} - R^2\{\varphi_2 - \sin\varphi_2 \cos\varphi_2\}$$

wobei die angeführten Größen folgende Bedeutung haben: Es sind r_1 und r_2 Radien der Grenzkreise der Zone, R ist der Sonnen- bezw. Mondradius. Die Winkel α_1 und α_2 sind Winkel, welche die zu den Schnittpunkten des Mondrandes mit den Grenzkreisen der Zone gezogenen Radien r_1 und r_2 mit der Verbindungslinie der Mittel-

[1]) Physikal. Zeitschr. Band 13, Heft 15, 1912.

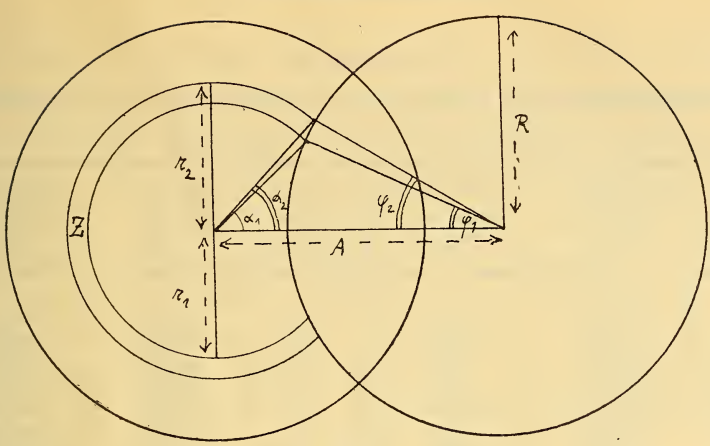

Fig. 1.

punkte von Sonne und Mond bilden; die Winkel φ_1 und φ_2 sind die Winkel, welche die vom Mittelpunkt der Mondscheibe an dieselben Schnittpunkte gezogenen Radien R mit der Verbindungslinie der Mittelpunkte bilden. Mit dem Zentralabstand A beider Körper stehen die Winkel durch folgende Ausdrücke in Beziehung, die für die Indices 1 und 2 gelten:

$$\cos \alpha = \frac{r^2 + A^2 - R^2}{2\,A\,r} \qquad \cos \varphi = \frac{A^2 + R^2 - r^2}{2\,A\,R}$$

In einzelnen Fällen vereinfacht sich die im allgemeinen recht umständliche Berechnung; Erleichterungen konnten auch bei der Winkelbestimmung durch direkte Ablesung an einer entsprechend groß gezeichneten Figur eintreten. Die Rechnung wurde für 32 Zonen von der Breite einer Bogenminute durchgeführt, indem für jede Zentraldistanz die einzelnen Zonen ihrer Flächengröße nach berechnet und mit den auf diesen Zonen geltenden Mittelwerten aus den Vogel'schen Helligkeitszahlen für die Grenzkreise multipliziert wurden. Aus der Summierung aller dieser Ausdrücke, deren Zahl je nach dem Zentralabstand von Sonne und Mond mehr oder minder groß war, wurde der gesamte Lichtstrom für je ein rotes und grünes Gebiet des Spektrums gefunden. Die Einheiten sind zunächst willkürlich; die Flächenhelle der Sonnenmitte wurde für Rot und Grün gleichmäßig zu 100 angenommen. Wird der Sonnenradius = 16 Einheiten gesetzt, so erhält man für 32 von Bogenminute zu Bogenminute fortschreitende Phasen der Verfinsterung die in der folgenden Tab. IV verzeichneten Intensitätswerte, deren Einheit diejenige Intensität ist, welche von einem Quadrat mit der Seite einer Bogenminute und der Helligkeit Eins ausgeht.

Tabelle IV.

Relative Intensitäten des Sonnenlichtes in 32 Phasen der Verfinsterung unter Benutzung der H. C. Vogel'schen Zahlen.

Zentral-distanz Bog.-Min.	Berechnete Helligkeit Rot	Berechnete Helligkeit Grün	Zentral-distanz Bog.-Min.	Berechnete Helligkeit Rot	Berechnete Helligkeit Grün
32	67 851	61 158	16	41 144	36 827
31	67 597	60 955	15	38 428	34 613
30	67 030	60 499	14	36 009	31 900
29	66 170	59 785	13	33 055	29 238
28	65 123	58 905	12	30 563	26 203
27	63 989	57 816	11	27 652	24 218
26	62 589	56 602	10	24 892	21 578
25	60 922	55 114	9	21 969	19 481
24	59 065	53 295	8	19 399	16 585
23	57 130	51 700	7	16 336	13 840
22	55 277	50 066	6	14 047	11 797
21	53 004	47 982	5	11 142	9 248
20	50 726	45 933	4	8 571	7 021
19	48 535	43 770	3	6 067	4 848
18	46 282	41 946	2	3 771	2 876
17	43 527	38 914	1	2 232	1 244

Diese Relativzahlen würden uns also für die verschiedenen Zentraldistanzen die Intensitäten des von den nicht verdeckten Sicheln ausgehenden Lichtes geben, falls die Absorption in der Erdatmosphäre als unveränderlich angenommen wird. Vermittels der Beziehung zwischen Zeit und Zentraldistanz, für welche wir die von Herrn Professor Dr. Kobold uns freundlichst gegebene folgende Tabelle zugrunde gelegt haben,

Tabelle V.

Gr. Zeit	Zentraldistanz	Gr. Zeit	Zentraldistanz
23h 0m	34′ 14″ 04	0h 26m	1′ 2″ 50
10	30′ 12″ 21	27	1′ 14″ 28
20	26′ 10″ 96	28	1′ 31″ 08
30	22′ 9″ 95	29	1′ 50″ 76
40	18′ 9″ 37	30	2′ 11″ 85
50	14′ 9″ 04	35	3′ 57″ 00
0h 0	10′ 9″ 08	40	6′ 5″ 13
10	6′ 9″ 85	50	10′ 6″ 36
15	4′ 11″ 53	1h 0	14′ 9″ 41
20	2′ 17″ 08	10	18′ 13″ 89
21	1′ 55″ 76	20	22′ 19″ 55
22	1′ 35″ 75	30	26′ 26″ 54
23	1′ 18″ 07	40	30′ 34″ 75
24	1′ 4″ 78	50	34′ 44″ 72
25	58″ 88		

lassen sich die vorstehenden Zahlen auch als zeitliche Werte umrechnen. Konstruiert man danach die Intensitäten im Rot und Grün als Funktion der Zeit, so ergeben sich zwei Kurven, deren Zweige zu beiden Seiten derjenigen Zeitordinate, die zum Maximum der Finsternis gehört, symmetrisch verlaufen. Diese Symmetrie erfährt jedoch wegen der veränderlichen Sonnenhöhe und der damit veränderlichen Transparenz eine merkliche Abänderung.

Aus diesem Grunde mußte, um einen Vergleich der beobachteten und berechneten Werte zu ermöglichen, an den berechneten Zahlen eine Korrektur angebracht werden. Aus der geographischen Breite φ, der Deklination der Sonne δ und dem Stundenwinkel t (wahre Sonnenzeit) der Sonne wurde nach der Formel

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

die Sonnenhöhe h berechnet. Als Transmissionskoeffizienten wurden die von C. Dorno (Davos) durch Beobachtung an klaren Herbsttagen ermittelten Werte

$$\alpha_{\text{rot}} = 0.9124$$
$$\alpha_{\text{grün}} = 0.8688$$

benutzt, die nach der Lambert'schen Formel

$$\log \alpha = \frac{\log J_2 - \log J_1}{Z_2 - Z_1}$$

aus den Intensitäten J_2 und J_1 bei verschiedenen Sonnenhöhen und den verschiedenen Weglängen Z_2 und Z_1 der Strahlen in der Atmosphäre (Weg vom Beobachter zum Zenith gleich 1 gesetzt) ermittelt sind. Mit Benutzung dieser Zahlen findet man dann für einen gegebenen Weg Z in der Atmosphäre die Intensität aus:

$$J = J_0 \cdot \alpha^Z$$

wobei sich der Wert Z aus der Sonnenhöhe bestimmt zu:

$$Z = \text{Konst.} \frac{1}{\sin h}$$ [1])

und J_0 die berechnete Intensität vorstellt, falls keine Extinktion in der Atmosphäre stattfindet (J_0 = extraterrestrische Helligkeit der Sonne). Dies Verfahren wurde praktisch durchgeführt, indem aus der Kurve der Helligkeitswerte J_0, die sich ohne Berücksichtigung der Extinktion ergeben hatten, eine Anzahl von 17 Werten in gleichen Zeitabständen abgenommen und nach der oben geschilderten Me-

[1]) Die Konstante enthält die Höhe des Beobachtungsortes über dem Meeresspiegel.

thode verrechnet wurden. Auf diese Weise sind die in der folgenden Tabelle VI aufgeführten Helligkeiten gefunden worden, neben denen die zugrunde liegenden Werte J_0 noch angegeben sind.

Tabelle VI.

Relative Intensitäten des direkten Sonnenlichtes ohne und mit Berücksichtigung der Absorption in der Atmosphäre.

M. E. Zeit	Rot		Grün	
	J_0	J	J_0	J
12h 6′	67 851	59 700	61 158	50 250
21′	62 900	55 370	56 800	46 690
31′	55 600	48 940	50 300	41 350
41′	46 600	41 010	42 100	34 590
51′	36 700	32 270	32 800	26 930
1h 1′	25 500	22 400	22 300	18 280
11′	14 400	12 650	12 100	9 908
21′	4 200	3 683	3 200	2 616
31′	4 100	3 591	3 200	2 610
41′	14 000	12 240	12 200	9 928
51′	25 000	21 820	21 700	17 610
2h 1′	37 400	32 580	32 100	25 960
11′	46 700	40 570	42 000	33 850
21′	55 700	48 270	50 500	40 540
31′	63 100	54 510	57 100	45 620
41′	67 340	57 970	60 720	48 270
51′	67 851	58 220	61 158	48 370

Die Werte J_{rot} und $J_{grün}$ um 12h 6′ wurden nun durch Multiplikation mit einem geeigneten Faktor auf die zur gleichen Zeit gehörigen Helligkeitswerte im Rot und Grün gebracht, wie sie sich aus der ausgeglichenen Kurve der Beobachtungswerte ergaben, nämlich auf die Werte 55 000 und 166 000. Dementsprechend sind alle anderen J-Werte reduziert. In der folgenden Tabelle VII findet man diese endgültigen berechneten J-Werte mit den beobachteten vereinigt. Die Fig. 2 gibt eine Übersicht über den Verlauf der durch Rechnung ermittelten und der aus den ausgeglichenen Beobachtungen hergestellten Helligkeitskurven.

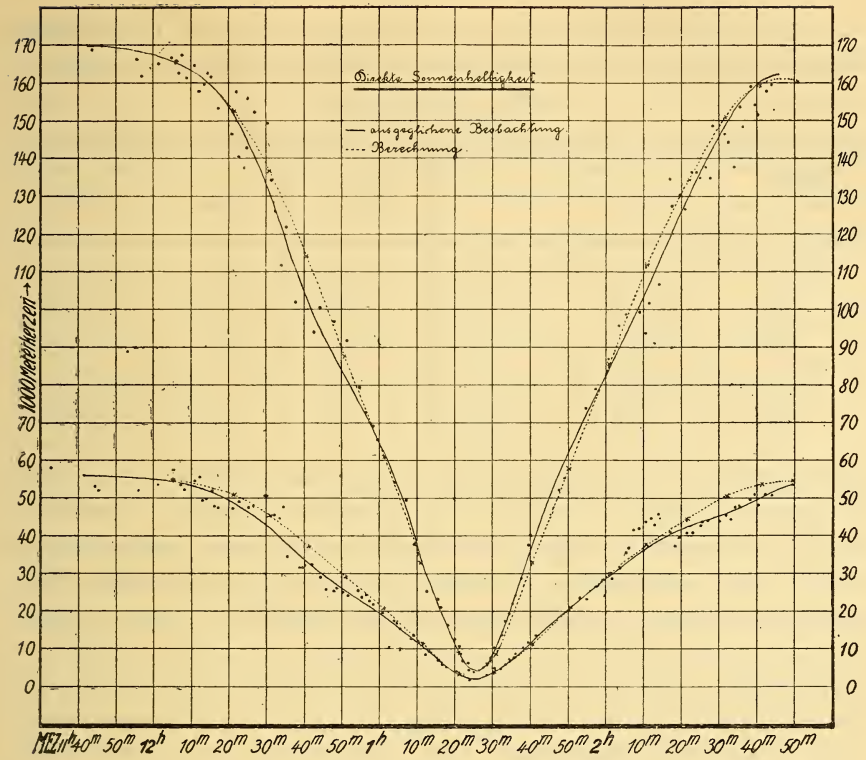

Fig. 2.

Tabelle VII.

Berechnete und beobachtete Intensität des direkten Sonnenlichtes in 1000 Hefner-Meterkerzen.

M. E. Zeit	J_{rot} berechnet	J_{rot} beobachtet	$J_{grün}$ berechnet	$J_{grün}$ beobachtet
12h 6′	55.00	55.00	166 00	166.00
21′	51.00	49.00	154.20	153.50
31′	45.08	42.00	136.60	130.00
41′	37.78	33.50	114.20	102.00
51′	29.73	26.00	88.94	82.50
1h 1′	20.64	19.50	60.39	62.00
11′	11.65	11.00	32.73	34.00
21′	3.39	3.50	8.64	9.00
31′	3.32	3.00	8.62	12.00
41′	11.28	11.50	32.79	40.50
51′	20.10	20.50	58.17	64.50
2h 1′	30.01	30.00	85.76	85.76
11′	37.38	37.00	111.80	106.50
21′	44.47	42.50	133.90	130.00
31′	50.23	45.50	150.70	148.50
41′	53.30	50.00	159.40	160.00
51′	54.64	53.50	159.70	—

Die Abweichungen der berechneten von den beobachteten Werten in % der letzteren sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Tabelle VIII.

M. E. Zeit	Rot	Grün	M. E. Zeit	Rot	Grün
12h 21′	+ 4.1	+ 0.5	1h 41′	— 1.9	— 19.0
31′	+ 7.3	+ 5.1	51′	— 2.0	— 9.8
41′	+ 12.8	+ 1.2	2h 1′	± 0.0	± 0.0
51′	+ 14.3	+ 7.8	11′	+ 1.0	+ 5.0
1h 1′	+ 5.8	— 2.6	21′	+ 4.6	+ 3.0
11′	+ 6.5	— 3.7	31′	+ 1.0	+ 0.1
21′	— 3.2	— 4.0	41′	+ 6.6	— 0.4
31′	+ 10.8	— 28.2	51′	+ 2.1	—

Sie liegen im Rot vorzugsweise nach der positiven Seite und erreichen im Maximum 14,3%. Es erklärt sich diese Bevorzugung des positiven Zeichens wesentlich dadurch, daß der Anfangswert der Beobachtungen 55 000 dem berechneten zu dieser Zeit gleichgesetzt wurde. Wäre eine Gleichsetzung zwischen gewissen mittleren Werten vorgenommen, so würden sich natürlich die Abweichungen auf beide Vorzeichen gleichmäßig verteilt und entsprechend kleinere absolute Maxima von etwa 7% erreicht haben. Veranschlagt man nun die aus Beobachtungsfehlern und Ablesungsfehlern des graphischen sowohl bei Beobachtung als Rechnung mitbenutzten Verfahrens sich ergebenden Unsicherheiten auf 5% und rechnet einen weiteren Betrag auf Störungen durch unsichtbare, vor der Sonne vorüberziehende Wölkchen, so deckt sich für rotes Licht die Berechnung mit der Beobachtung in befriedigender Weise. Die von H. C. Vogel gefundene Abnahme der Sonnenhelligkeit von der Mitte nach dem Rande zu wird demnach für rotes Licht durch unsere Beobachtungen genügend bestätigt.

Die Abweichungen für grünes Licht, welche rücksichtlich der Vorzeichen zwar gleichmäßiger verteilt sind, erreichen doch absolut bedeutend größere Werte, bis zu einem Maximum von 28,2% zur Zeit der größten Verfinsterung. Eine Erklärung hierfür kann durch Beobachtungsfehler nicht gegeben werden. In Betracht käme allenfalls der Umstand, daß die zur Berechnung benutzten Werte der Transmissionskoeffizienten den Davoser Beobachtungen entnommen sind. Durch Einsetzung der für Kiel geltenden kleineren Koeffizienten würde sich eine etwas kleinere Abweichung zwischen Beobachtung und Rechnung ergeben haben. Indessen würde auch hieraus

nur ein sehr kleiner Teil der bestehenden Differenz erklärt werden können. Von größerem Belang kann vielleicht sein, daß die Vogelschen unserer Berechnung zugrunde gelegten Zahlen sich auf je eine bestimmte Wellenlänge ($\lambda_{rot} = 662\,\mu\mu$ und $\lambda_{grün} = 470\,\mu\mu$) beziehen, während die von uns benutzten Okulargläser breitere Spektralgebiete umfassen mit Maximis der Durchlässigkeit bei $\lambda_{rot} = 680\,\mu\mu$ und $\lambda_{grün} = 520\,\mu\mu$. In welchem Sinne diese Verhältnisse unsere Untersuchung beeinflußt haben, ist ohne weitere umständliche Untersuchungen nicht unmittelbar zu erkennen. Wir halten es aber für wahrscheinlich, daß auch dieser Einfluß nur zu einem kleinen Teil jene Abweichung der Berechnung von der Beobachtung zu erklären vermöchte, neigen vielmehr der Annahme zu, daß die Abnahme des grünen Lichtes von der Mitte nach dem Rande der Sonne zu auf Grund unserer Beobachtungen schwächer erscheint, als wie sie von H. C. Vogel gefunden wurde.

Abgesehen von dieser nicht allzu großen Abweichung im Grün geben also die Vogel'schen Helligkeitswerte im Rot und Grün wohl ein zutreffendes Bild der Helligkeitsabnahme der Sonne nach dem Rande zu.

Die recht zeitraubende Rechnung, welche die Aufsuchung der Helligkeit bei gegebenem Zentralabstand von Sonne und Mond erfordert, sei es durch Integration, sei es durch zonenweise Bestimmung, wird erheblich abgekürzt durch ein von uns angewandtes graphisches Verfahren [1]), welches bei derartigen Rechnungen in Zukunft willkommene Dienste leisten kann. Es sei (cf. Fig. 3) S der Mittelpunkt der Sonnenscheibe und M sei Mittelpunkt des Mondes; bei einer gegebenen Zentraldistanz A von Sonne und Mond betrachten wir einen Punkt der Sonnenscheibe mit dem Abstand r von S. Es sei nun f (r) die als Funktion des Zentralabstandes gegebene Flächenhelligkeit der Sonne und ψ (r) der halbe, vom Mond nicht verdeckte Bogen des mit r beschriebenen Kreises. Dann ist die von dem schmalen Ringe von der Breite dr herrührende Intensität gegeben durch: $2\pi r \,.\, dr \,.\, \frac{\psi\,(r)}{\pi}\, f\,(r)$ und die

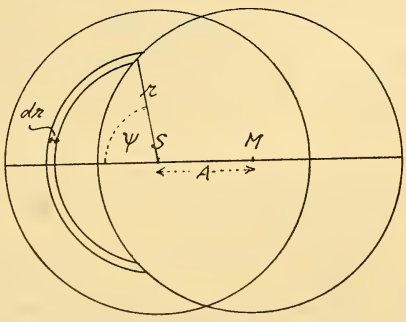

Fig. 3.

[1]) Vergl. L. Weber, Zur graphischen Darstellung eines in der Photometrie vorkommenden Integrales. Zeitschrift für Beleuchtungswesen, Band 18 S. 289, 1912.

gesamte Intensität der Sichel bei der Zentraldistanz A wird:

$$J_A = 2\pi \cdot \int_{R-A}^{R} r \cdot f(r) \cdot \frac{\psi(r)}{\pi} \cdot dr$$

Dies Integral ist nun graphisch leicht und mit genügender Genauigkeit zu konstruieren als eine über der Abszissenachse r liegende Fläche, sobald man das Produkt $r \cdot f(r) \cdot \frac{\psi(r)}{\pi}$ als eine zu r gehörige Ordinate zeichnet. Die in Frage kommenden Grenzordinaten liegen bei $r = R-A$[1]) und $r = R$, wo R den Sonnenradius bedeutet.

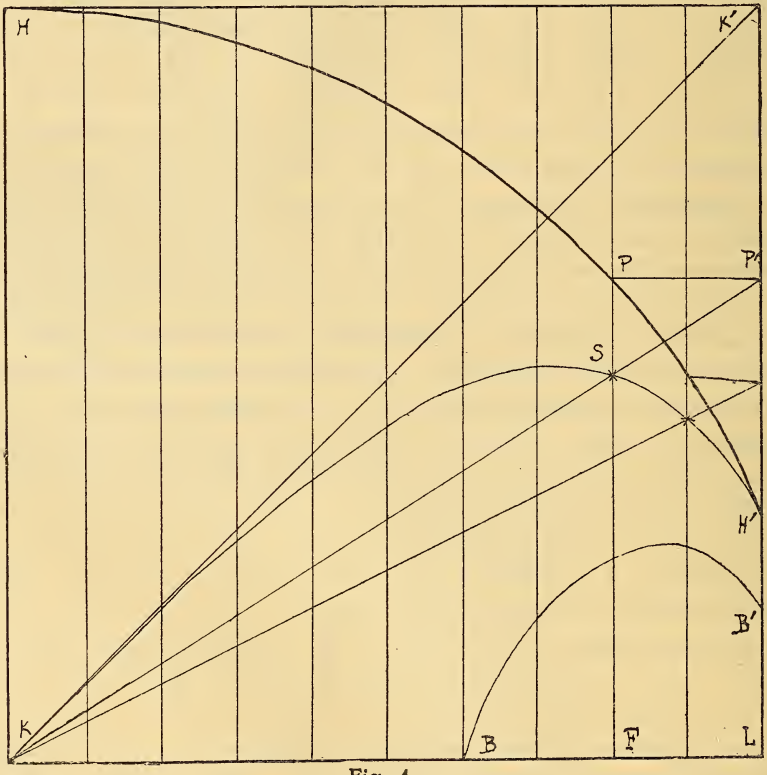

Fig. 4.

Die Konstruktion geschieht nach Fig. 4 in folgender Weise: Es werde die Helligkeit der Sonnenmitte und ebenso der Sonnenradius $R = 1 = KH = KL$ gesetzt. Die Kurve HH′ stelle die aus den

[1]) Für diejenigen Phasen, bei denen $A > R$ ist, denkt man sich das $\int$ in die zwei Teile $\int_{0}^{-(R-A)}$ und $\int_{-(R-A)}^{R}$ zerlegt. In der graphischen Konstruktion (Figur 4) liegt dann der Punkt B auf der Kurve KSH′ und beide Integrale zusammen werden durch die Fläche KBB′L dargestellt.

Vogelschen Zahlen entnommene Funktion f (r) für eine bestimmte Wellenlänge dar. Es wird dann zunächst das Produkt r . f (r) als Funktion von r konstruiert. Dies geschieht, indem man zu einem gegebenen Abstand r = KF den zugehörigen Punkt P der Kurve HH′ durch Errichtung des Lotes FP aufsucht. Man zieht die Horizontale PP′ und zieht P′K. Der Schnitt von P′K mit der in F errichteten Ordinate gibt einen Punkt S der Kurve KSH′. Es verhält sich dann

$$f(r) : 1 = SF : r$$

oder $$SF = r \cdot f(r)$$

Die Fläche KSH′L noch multipliziert mit 2π stellt die gesamte Intensität der unbedeckten Sonnenscheibe dar, während das Dreieck KK′L die Intensität bei gleichmäßiger Helligkeit bedeuten würde. Um nun die Intensität für eine sichelförmige Bedeckung zu erhalten, müssen die einzelnen Ordinaten FS im Verhältnis $\frac{\psi(r)}{\pi}$ verkleinert werden, was durch Ausmessung des Winkels ψ in der Fig. 3 bei gehörig vergrößerter Zeichnung mit genügender Genauigkeit bequem zu erreichen ist. Man erhält so die Kurve BB′, und die Fläche BB′L stellt somit den Wert $\frac{J_A}{2\pi}$ dar. Der Inhalt dieser Fläche wird planimetrisch ermittelt.

Die Methode wurde für einige Stellungen durchkonstruiert, wobei die Helligkeit der Sonnenmitte gleich 100 und der Sonnenradius gleich 16 gesetzt wurde, um Anschluß an die früheren Zahlen zu gewinnen. Die Winkel sind derjenigen Figur entnommen, die für die Zonenauswertung der vorhergegangenen Methode diente. Die Flächen wurden ausplanimetriert und lieferten folgende Flächeninhalte bei gegebenen Zentraldistanzen:

Tabelle VIII.

Zentraldistanz	Graphische Methode		Zonenmethode	
	Rot	Grün	Rot	Grün
24′	59 420	52 978	59 065	53 295
16′	41 196	37 080	41 144	36 827
5′	10 980	9 360	11 142	9 248

Die Methode leistet im großen und ganzen bei geringerem Zeitaufwand das gleiche wie die zonenweise Auswertung; der graphische Fehler scheint wenigstens bei den mittleren Zentral-

distanzen nicht allzusehr ins Gewicht zu fallen, so daß dies im Grunde exakte Verfahren gegenüber der Annäherungsmethode durch Zonenauswertung den Vorzug verdient.

Parallel mit den Helligkeitsmessungen der Sonne gingen Messungen der Helligkeit des diffusen Tageslichtes (Ortshelligkeit). Die Resultate dieser Beobachtungen finden sich in Tabelle IX. Die Ablesungen wurden stets auf eine volle Minute gelegt und abwechselnd im Rot und Grün ausgeführt:

Tabelle IX.
Ortshelligkeit in 1000 Meterkerzen.

M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün	M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün
11h 0′	41.74		12h 4′	47.69	
1′		127.40	5′		152.20
30′	41.74		6′	47.69	
31′		130.10	7′		139.00
32′	41.74		8′	48.81	
33′		132.90	9′		152.20
34′	43.60		10′	47.69	
35′		135.90	11′		148.70
36′	44.58		12′	46.61	
37′		139.00	13′		145.30
38′	41.74		14′	47.69	
39′		132.90	15′		152.20
40′	42.65		16′	49.97	
41′		135.90	17′		148.70
42′	44.58		18′	44.58	
43′		148.70	19′		139.00
44′	44.58		20′	44.58	
45′		132.90	21′		130.10
46′	43.60		22′	42.65	
47′		132.90	23′		132.90
48′	42.65		24′	42.65	
49′		132.90	25′		130.10
50′	43.60		26′	41.74	
51′		130.10	27′		127.40
52′	42.65		28′	42.66	
53′		139.00	29′		132.90
54′	48.81		30′	41.74	
55′		152.20	31′		132.90
56′	48.81		32′	40.86	
57′		135.90	33′		117.10
58′	48.81		34′	37.59	
59′		145.30	35′		110.40
12h 0′	47.69		36′	35.23	
1′		145.30	37′		108.10
2′	49.97		38′	34.03	
3′		152.20	39′		104.00

1. Fortsetz. Tabelle IX.

M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün	M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün
12h 40′	32.74		1h 31′		6.01
41′		100.10	32′	3.61	
42′	32.13		33′		8.09
43′		100.10	34′	4.68	10.91
44′	31.53		35′	7.59	23.58
45′		94.73	36′ [1]	7.81	
46′	28.78		37′		11.63
47′		88.10	38′	8.63	
48′	27.30		39′		18.87
49′		83.60	40′	11.09	
50′	26.82		41′		40.32
51′		78.12	42′	14.21	
52′	24.65		43′		45.76
53′		74.37	44′	15.63	
54′	23.48		45′		50.00
55′		64.57	46′	17.66	
56′	20.71		47′		57.41
57′		57.41	48′	18.95	
58′	19.52		49′		58.24
59′		57.41	50′	20.71	
1h 0′	17.66		51′		67.61
1′		55.03	52′	22.74	
2′	17.17		53′		71.03
3′		47.44	54′	23.48	
4′	13.93		55′		72.01
5′		42.87	56′	24.25	
6′	13.76		57′		74.37
7′		38.48	58′	24.25	
8′	11.92		59′		79 47
9′		34.72	2h 0′	26 37	
10′	11.02		1′		86.58
11′		32.18	2′	27.77	
12′	9.40		3′		91.33
13′		25.52	4′	30.39	
14′	7.59		5′		94.71
15′		22.22	6′	31.53	
16′	6.32		7′		94.71
17′		16.77	8′	30.39	
18′	4.87		9′		100.30
19′		12.99	10′		
20′	3.69		11′		
21′		9.07	12′	31.53	
22′	1.87		13′		106.00
23′		3.26	14′	35.39	
24′	1.31		15′		110.40
25′		2.34	16′	36.10	
26′	1.16		17′		114.80
27′		2.73	18′	35.39	
28′	1.81		19′		112.60
29′		4.90	20′	36.10	
30′	2.56		21′		119.60

[1]) Störung durch einen Fahnenstangenschatten auf der Milchglasplatte.

Tabelle IX. 2. Fortsetz.

M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün	M. E. Zeit	Helligkeit im Rot	Helligkeit im Grün
2h 22′	39.16		2h 42′	37.58	
23′		119.60	43′		114.80
24′	37.42		44′	36.84	
25′		117.10	45′		108.10
26′	57.42		46′	34.69	
27′		119.60	47′		110.30
28′	40.00		48′	35.40	
29′		130.10	49′		112.50
30′	41.00		50′	36 84	
31′		127.40	51′		112.50
32′	40.86		52′	36.10	
33′		127.40	53′		110.30
34′	40.00		54′	35.40	
35′		119.60	55′		114.80
36′	40.00		56′	36.84	
37′		119.60	57′		110.30
38′	38.36		58′	35.40	
39′		122.10	59′		114.80
40′	38.36		3h 0′	36.10	
41′		112.50	1′		112.50

Tabelle X.

Ortshelligkeit in 1000 Merterkerzen im Rot und Grün und Verhältnis h_g/h_r der Ortshelligkeit (nach der ausgeglichenen Kurve).

M. E. Zeit	h_g	h_r	h_g/h_r
12h 0′	149.5	49.0	3.04
5′	149.5	49.0	3.04
10′	148.5	48.5	3.06
15′	144.0	47.0	3.06
20′	138.0	45.0	3.07
25′	132.0	43.0	3.07
30′	123.5	40.0	3.09
35′	113 0	37.0	3.05
40′	103.0	33.5	3.08
45′	93.0	30.0	3.10
50′	81.5	26.0	3.13
55′	68 0	22.0	3.09
1h 0′	54.0	18.0	3.00
5′	42.5	14.0	3.00
10′	31.5	10.5	3.00
15′	20.0	7.0	2.85
20′	10.0	3.5	2.86
25′	2.2	1.2	1.83
30′	5.0	2.5	2.00

Fortsetz. Tabelle X.

M. E. Zeit	h_g	h_r	h_g/h_r
1h 35′	12.5	5.5	2.27
40′	29.0	10.5	2.76
45′	45.0	14.5	3.10
50′	58.5	19.0	3.08
55′	70.0	22.5	3.11
2h 0′	78.5	25.5	3.08
5′	89.0	28.5	3.12
10′	98.5	31.5	3.13
15′	109.0	34.5	3.16
20′	118.0	37.0	3 19
25′	125.0	39.5	3.16
30′	128.5	41.5	3.10
35′	123.0	40.0	3.08
40′	117.5	37.5	3.13

Aus den Beobachtungswerten der Tabelle IX wurden wieder durch Ausgleichung zwei Kurven hergestellt, aus denen von fünf zu fünf Zeitminuten zusammengehörige Werte der Helligkeit im Rot und Grün entnommen und zur Bestimmung des Verhältnisses h_g/h_r benutzt wurden; diese ausgeglichenen Beobachtungswerte und Verhältniszahlen finden sich schließlich in Tabelle X.

Die Ortshelligkeit nimmt, wie aus den Zahlen der Tabelle IX folgt, von 49970 HMK im Rot auf 1161 HMK ab, während die Helligkeit im Grün von 152200 HMK auf 2335 HMK sinkt. Das Verhältnis h_g/h_r geht nach Tabelle X dauernd herunter bis zur größten Sonnenbedeckung und erreicht in dieser Zeit den Wert 1.83. Nimmt man als Normalwert dieses Quotienten für unbedeckte Sonne bei großer Höhe und fehlender Bewölkung den Wert 3.15 an, so ist hiernach eine Verkleinerung von h_g/h_r um rund 42% eingetreten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: 15

Autor(en)/Author(s): Weber L., Borchardt H.

Artikel/Article: Photometrische Beobachtungen während der Sonnenfinsternis vom 17. April 1912. 269-289