Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 25 (1924)

Artikel: Die Lufthülle der Erde und die Mondfinsternisse
Autor: Meyer-Bührer, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-594050

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

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

Die Lufthülle der Erde und die Mondfinsternisse.

Von Hch. Meyer-Bührer, Steckborn.

I. Tatsachen, Beobachtungen, Hilfsmittel.

1. Einleitung.

Aus Beobachtungen der Dämmerungserscheinungen versucht man u. a. Aufschluß zu erhalten über die höhern Schichten der Lufthülle. Morgen- und Abendstimmung des kreß- und rotfarbigen Himmels, die aller Menschen Blicke immer wieder auf sich zu lenken vermögen, sind eine Wirkung der Lufthülle mit mancherlei in ihr schwebenden Teilchen auf jene Sonnenstrahlen, welche nahe an der Erde vorbeistreichen. Dabei verbleiben diese Strahlen auf recht langem Wege innerhalb der Lufthülle, verlieren infolge Zerstreuung an den Luftmolekülen ihr kurzwelliges blaues Licht und damit viel an Leuchtkraft. Nur das langwellige gelbe und rote Licht vermag die größern Teilchen in den untern Luftschichten zu überfluten und, die Erde nahe streifend, bis zum irdischen Beobachter zu gelangen.

Auf diesem Wege werden die Lichtstrahlen durch Brechung aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt. Wie

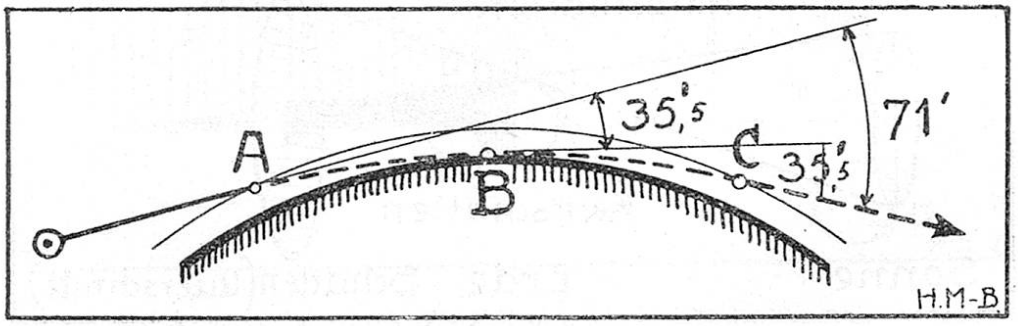


Abb. 1. Ablenkung eines Lichtstrahls, der links von der Sonne herkommt, bei *A* in die Lufthülle der Erde ein-, bei *C* aus derselben austritt.

1074/1
12589

Abb. 1 zeigt, durchlaufen Strahlen wie *A—B—C*, von *A—B* die Lufthülle ein erstes, von *B—C* ein zweites Mal. Abermals erleiden sie Verfärbung, Schwächung der Helligkeit und Ablenkung. Diese doppelte Ablenkung beträgt dann bei *C* rund 71′ für Strahlen, welche in *B* die Erde fast berühren.

2. Beschaffenheit des Erdschattens in Mondentfernung.

Nach Beobachtungen.

Wenn der Vollmond durch den Erdschatten fliegt und darin „verfinstert“ wird, so ist er nie oder nur sehr selten „schwarz“ oder unsichtbar. Er sendet stets noch „graues“, getrübt gelb-, kreß- und rotfarbiges Licht zur Erde zurück: Er bleibt „kupferrot!“ Man findet die Farben des Morgen- und Abendrots, d. h. jene verfärbten Lichtstrahlen im Erdschatten weit „hinter“ der Erdkugel zum Teil noch vor: „Farbige Lichtstrahlen im Schattenkegel selber!“ Wir wollen diesem lichtvollen Schatten unsere Beachtung schenken.

Der Atlas enthält eine Abbildung wie unsere untenstehende Abb. 2. Es wird hier und in spätern Bildern die Sonne (☉) stets als Scheibe gezeichnet, ebenso ein Querschnitt durch die Schattenkegel in Mond- (☾) Entfernung. Auch ist kurz vom „obern“ und „untern“ Sonnenrand die Rede, sowie von Strahlen, welche „über“ die Erde hin- oder „unter“ der Erde wegstreichen. Wir befassen uns nur mit einem in der Papierebene gelegenen Längsschnitt durch Sonne, Erde und Schatten, ja meistens nur mit der „obern“ Hälfte dieses Schnittes. Was aber von diesem gesagt wird, gilt vom ganzen Schattenraum.

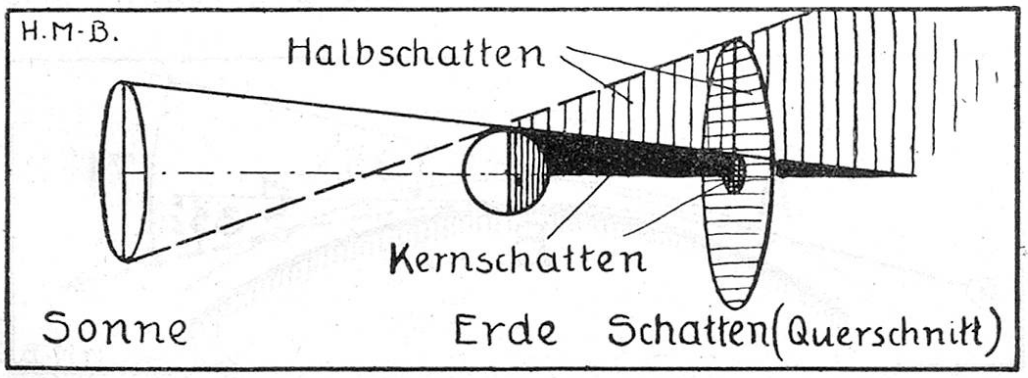


Abb. 2. Kern- und Halbschatten der Erde, wenn diese keine Licht ablenkende Lufthülle besäße.

Die Abb. 2 erklärt, daß man Kernschatten nennt, was begrenzt ist von Strahlen, die aus dem „obern“ Sonnenrand „über“ die Erde hinstreifen und „Halbschatten“ jenen Raum, der von Strahlen begrenzt wird, welche aus dem „untern“ Sonnenrand auch „über“ die Erde hinstreichen.

Durchläuft der Mond den Erdschatten, so zeigt er uns in jener Entfernung einen Querschnitt durch die Schattenkegel. Gleich hier sei erwähnt: Alle Beobachter und Lehrbücher sagen, daß vom Halbschatten kaum etwas zu bemerken sei, d. h. daß man während des Verbleibens im Halbschatten am Monde keine Helligkeitsabnahme wahrnehmen könne. Besonders aber wird stets hervorgehoben, „daß man den Ein- und Austritt des Mondes in bezw. aus dem (berechneten) Halbschatten nicht beobachten und feststellen könne!“

Tritt der Mond in den sichtbaren sogenannten Kernschatten ein, so erscheint die eingetauchte Mondfläche zunächst als grauer Fleck, nicht ganz scharf begrenzt, aber doch auch nicht sehr langsam in die fast volle Helligkeit übergehend. Eine deutliche Grenze ist vorhanden, die von bloßem Auge schärfer als im Fernrohr empfunden wird.

Ist die Eintauchtiefe größer als etwa 8′ bis 14′, dann reflektiert die Mondfläche aus jenem innern Teile des Erdschattens gelbes, etwas rauchbräunlich getrübtes Licht. Bei weiterem Eintauchen bis zur Schattenachse verfärbt sich die Mondscheibe langsam immer mehr nach bräunlich getrübtem

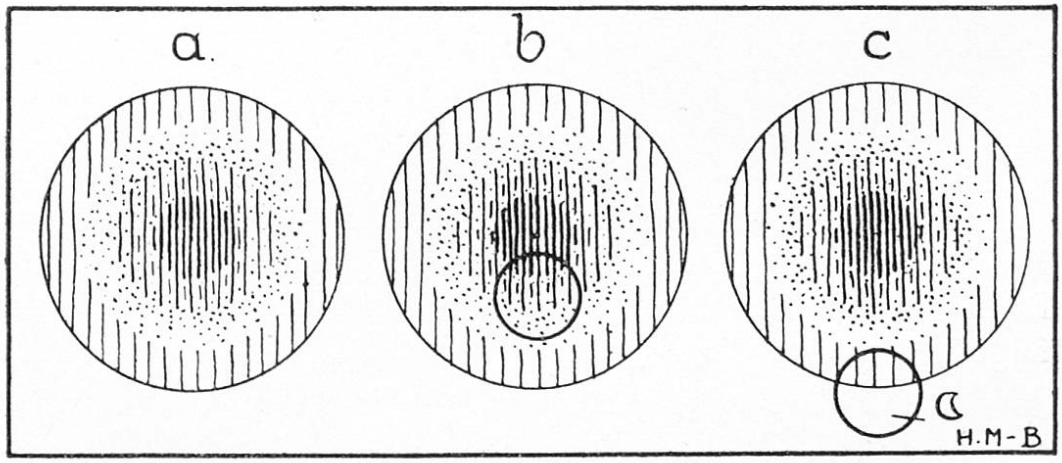


Abb. 3. Querschnitte durch den Erdschatten, in Mondentfernung. Außen grauer Saum; innen bunter Kern mit gelblich (punktiert) beginnend über Kreß- nach Schwarzrot im Innern übergehend.

Kreß (Orange) bis Kreßrot, selbst bis zu schwärzlichem Kupferrot. Nur sehr selten, wie gesagt, wird die Mondscheibe so verdunkelt, daß sie sich von dem schwarzblauen Himmelshintergrund nicht mehr abhebt und unsichtbar bleibt.

Beim Austauchen durch den andern Kernschattenteil nimmt man die umgekehrte Farbenfolge wahr. Man beachte, daß ich nur vom sogenannten „Kernschatten“ spreche, dessen Querschnittscheibe (Abb. 3 a) einen grauen Saum und einen bunten Kern enthält.

Der Uebergang aus dem Kern in den Saum ist wiederum ziemlich deutlich, jedoch weniger scharf als die äußere Grenze des „Kernschattens“, des grauen Saumes. Man kann die scheinbare Breite des Saumes noch gut schätzen; sie beträgt, auch nach de Paolis, im Mittel 13′, wobei die äußern 3′ eine rauchig-wolkige Struktur haben sollen.[1] Ich selbst habe diese dritte Zone noch nicht beobachtet, wohl aber am 2./3. Mai 1920 eine Breite des grauen Saumes von schätzungsweise 9′ beim Eintritt, 10′—11′ zur Zeit der größten Verfinsterung, wobei der „innere“ Mondrand bis auf 3′ der Schattenachse nahe kam und rot blieb, und 7′—8′ an der Austrittsstelle (Abb. 3 b).

Ferner war am 2./3. März 1923 kurz nach Mitte der Finsternis die Eintauchtiefe noch 10′—11′ und die verdunkelte Mondfläche nur dem grauen Saum angehörend (Abb. 3 c).

Die mittlere Breite von 13′ des grauen Saumes darf, wie es nach den Angaben über de Paolis Arbeit (a. a. O.) scheint, für den Erdschatten („Kernschatten“-)kegel in allen Mondentfernungen gelten.

3. Vorausberechnung der Schattenradien.

Zur Vorausbestimmung der Zeiten für den Eintritt des Mondes in den Schatten und den Austritt wird der scheinbare Radius eines Erdschattenquerschnittes in Mondentfernung wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} &\text{Halbschatten:}\quad R_H = \pi_{\odot} + \pi_{☾} + r_{\odot}, \\ &\text{Kernschatten:}\quad R_K = \pi_{\odot} + \pi_{☾} - r_{\odot}, \end{aligned} \qquad \text{I}$$

[1] L'Astronomie, bulletin de la Société astronomique de France; 34e année, Avril 1920, p. 193 enthält kurze Erwähnung mit Bild aus der Arbeit von de Paolis, Rom.

Der scheinbare Radius ist ein Winkel und, wie aus Abb. 4 entnommen werden kann, als algebraische Summe von drei Winkeln zu finden:

$\pi_{\odot}$ = Sonnenparallaxe = scheinbarer Erdradius, von der Sonne aus gesehen;

$\pi_{☾}$ = Mondparallaxe = scheinbarer Erdradius vom Mond aus gesehen;

$r_{\odot}$ = scheinbarer Sonnenradius, von der Erde aus gesehen.

Der nach Formeln I berechnete Kernschatten ist aber, wie die Erfahrnng lehrte, zu klein, denn die Verfinsterung des Mondes tritt meistens etwas früher ein, als vorausberechnet worden war. Nach zahlreichen Untersuchungen fand z. B. Hartmann,[1] daß für bessere Uebereinstimmung der berechnete Radius durchschnittlich noch um $^1/_{50}$ zu vergrößern ist, welcher Betrag aber stark wechseln kann. Die nötigen Winkel sind in den astronomischen Jahrbüchern vorausberechnet und dort zu entnehmen. Die wechselnden Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde sind in den Winkeln $\pi_{\odot}$ bezw. $\pi_{☾}$ enthalten. Wichtig ist auch, daß $\pi_{☾}$, d. h. die scheinbare Größe des Erdradius vom Mond aus, berechnet ist für einen mittleren Radius des Erdellipsoides für die geographische Breite $\varphi = 45^0$, daß also 1. keine Luftschichten zur Erde hinzugerechnet werden und man sich 2. wie in Abb. 4 die Strahlen aus den Sonnenrändern geradlinig an der Erdkugel vorbei-

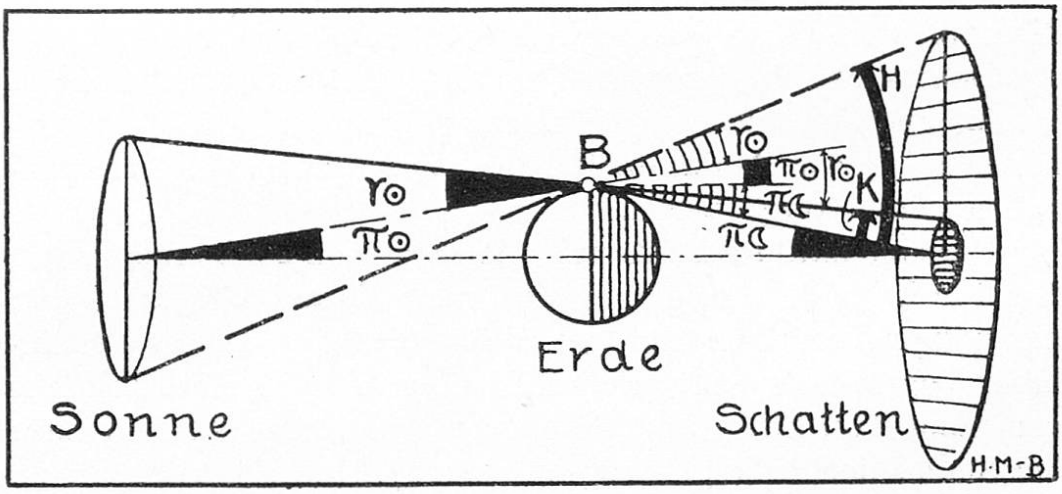


Abb 4 Die Winkel, aus welchen die scheinbaren Radien *K* des Kerns- und *H* des Halbschattens berechnet werden.

[1] Wie J. v. Hepperger berichtet. (Siehe Note Seite 207.)

gehend denkt, mithin ohne deren Ablenkung, Abb. 1 (Refraktion) rechnet, also rein geometrisch vorgeht.

Für den Astronomen haben Mondfinsternisse keine weitere Bedeutung, daher genügen ihm die vereinfachten Annahmen. Verwunderlich aber ist es, daß trotzdem die berechneten Radien beinahe mit der Wirklichkeit übereinzustimmen scheinen. Sehen wir auch da näher zu.

4. Refraktion und „Vergrößerung" des Schattenradius.

Die Refraktion lenkt, wie in Abb. 1 zu sehen ist, die an der Erde vorbeiziehenden Lichtstrahlen aus ihrer ursprünglichen Richtung vor Eintritt in die Erdatmosphäre zur Schattenachse hin ab, sodaß ein Querschnitt durch den „Kern"-Schattenkegel in einer bestimmten Entfernung hinter der Erde kleinern Durchmesser erhält, als er nach vorgehender Rechnungsart gefunden wird. Man denke sich in Abb. 4 das Strahlenbüschel rechts von Punkt B einfach etwas nach „unten" geknickt, wodurch die Radien der Schattenkreise verkleinert, niemals aber vergrößert werden. Es muß daher auffallen, daß der wirkliche, sogenannte „Kern"-Schatten noch $^1/_{50}$ größer ist als der berechnete. Wenig überzeugend ist die in manchen Büchern zu findende Erklärung, daß die Refraktion der Atmosphäre eine vergrößernde Wirkung habe?! Vorsichtiger sagt eine andere, daß die Erdatmosphäre einen vergrößernden Einfluß habe. Letzteres kann man sich so vorstellen, daß die untersten, dichtern Luftschichten die eingedrungenen Lichtstrahlen stark schwächen oder zum Teil gar nicht mehr durchlassen und deshalb zur schattenwerfenden Erdkugel hinzukommen, deren Radius und damit auch jenen des Schattenquerschnittes vergrößernd.

Für eine mittlere Entfernung der Erde von der Sonne und für Mond in Erdnähe (Perigäum) wird nach Formel I $R_K = 45{,}6'$; die nötige Vergrößerung $^1/_{50} = 55'' = 0{,}9'$. Dieser scheinbaren Vergrößerung entspricht in Mondentfernung eine wirkliche von rund 100 km. Um denselben Betrag muß ungefähr auch der Radius der Erdkugel vergrößert sein, d.h. es müßte bis zu über 100 km Höhe die Atmosphäre nur so wenig Licht durchlassen, daß jener markante „Kernschatten" entstehen kann, wie er wirklich beobachtet wird. Das

ist sehr unwahrscheinlich, selbst wenn man bedenkt, daß die Mondoberfläche nur etwa 17 % des auffallenden Lichtes zurückwirft und dieses die Erdenluft auf dem Wege zum Beobachter hin ein drittes Mal durchlaufen muß. Man mag sich vorstellen, daß die Erdenbewohner auf dem Grunde eines solchen Luftozeans von Sonne, Mond und Sternen wohl keine Ahnung hätten! Wie stark müßte in solch dichter Lufthülle erst die ablenkende Wirkung sein, wodurch wiederum der Schattenradius verkleinert, nicht aber vergrößert würde!

Die folgenden Betrachtungen machen die Kenntnis der Refraktion für jede beliebige Luftschicht notwendig. Mit zunehmender Höhe über der Erde nehmen Dichtigkeit, Luftdruck, Temperatur der Luft und damit die einfache, sowie natürlich auch die für uns in Rechnung kommende doppelte Horizontal-Refraktion, ab. Für einen in Meereshöhe vorbeistreichenden Lichtstrahl ist bei mittlerem Luftzustand (760 mm Luftdruck, + 10° C Temperatur) die doppelte Ablenkung nach Austritt aus der Atmosphäre = 2 × 35,5′ = rund 71′. Bis zu rund 20 km Höhe mißt man Temperaturen, kann man den Luftdruck berechnen und mit diesen Größen aus den bekannten Refraktionstabellen (von den Astronomen aus zahlreichen Messungen berechnet) die Ablenkungen in jeder beliebigen Kilometerluftschicht finden. Von rund 16 km ab verbleibt die

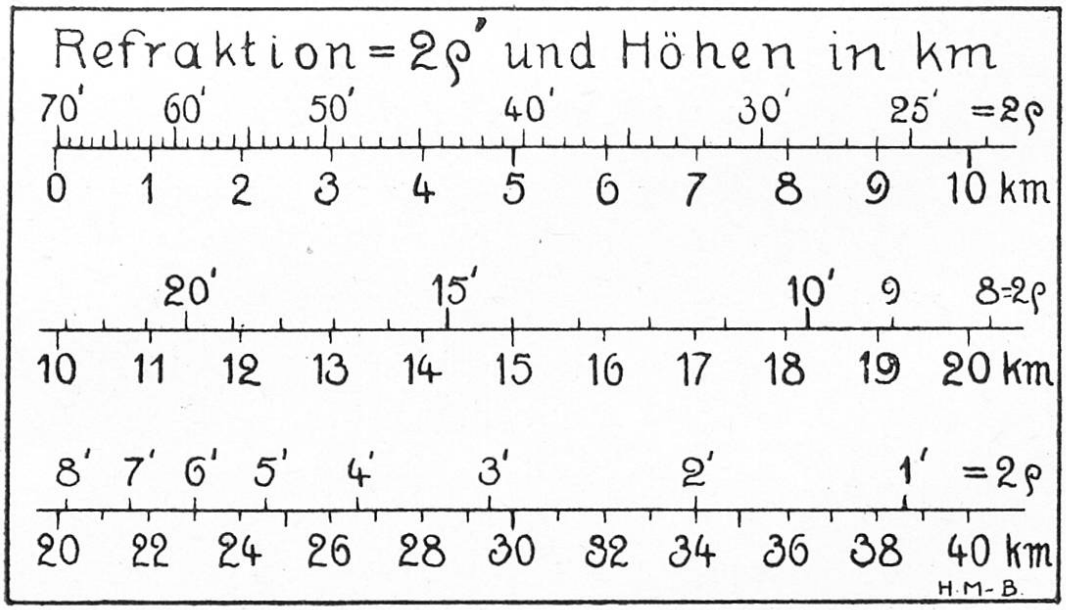


Abb. 5. Gesamtablenkung von Lichtstrahlen, wenn sie die Erdatmosphäre in verschiedenen Höhen ganz durchlaufen.

Temperatur, wie bis zu 30 km Höhe nachgewiesen ist, auf etwa -54^0 C, welchen Betrag ich bis 40 km für meine Berechnungen beibehalten habe. Nach eigenen Untersuchungen über einen Lichtstrahl, welcher die Erde berührt, darf man nämlich die Refraktion in 40 km Höhe gleich Null annehmen. Statt der Zahlentabelle gibt Abb. 5 die berechneten Werte bequemer.

In ganzen Minuten ist gleich der doppelte Refraktionswinkel $= 2\,\rho$ angeschrieben.

5. Lagebeziehungen zwischen Sonnen und Schattenpunkten, sowie Höhenschichten der Atmosphäre.

Der Strahlengang wird durch die Refraktion ($\sphericalangle\,\rho$) in der Weise beeinflußt, daß man statt Formeln I die folgende erhält:

$$R = \pi_{\odot} + \pi_{☾} - r_{\odot} - 2\,\rho, \qquad \text{II}$$

wie aus Abb. 1 oder 4 unschwer abzuleiten ist.

Versteht man jetzt nach Abb. 6 unter $r_{\odot}$ bezw. R nicht nur Radien für Randpunkte, sondern allgemein den scheinbaren (Winkel-)Abstand eines Punktes der Sonnen- bezw. Schattenscheibe von der Zentrallinie, mit entsprechendem Vorzeichen, so gibt Formel II alle Beziehungen zwischen Punkten der Sonnen- und Schattenscheibe, sowie der Höhe einer Luftschichtgrenze über der Erde (kurz Luft-km). Es ist nämlich die Ablenkung $2\,\rho$ (siehe Abb. 6) zu berechnen, welche ein Lichtstrahl erleiden muß, wenn er von einem gegebenen

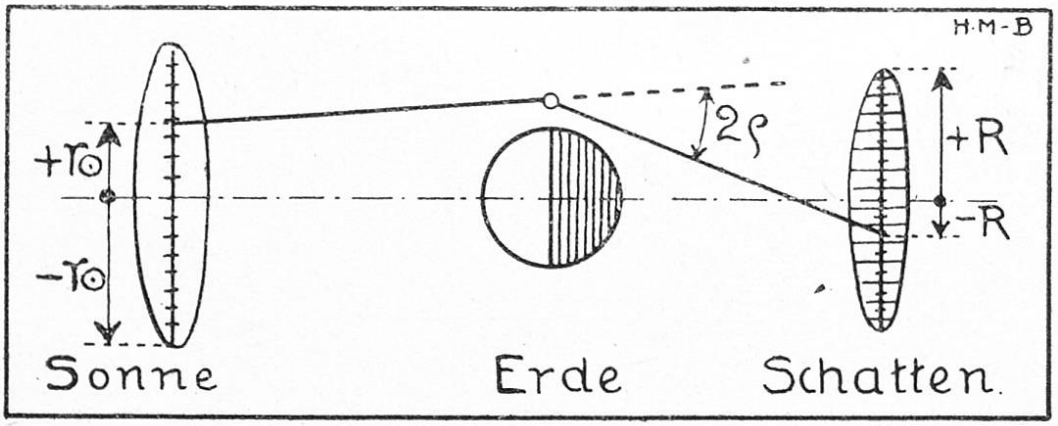


Abb. 6. Beziehung zwischen Punkten der Sonnenscheibe, der Erdatmosphäre und des Schattenquerschnittes.

Sonnenpunkt zu einem gegebenen Schattenpunkt gelangen soll. Mit dem gefundenen Werte 2ρ kann dann aus der Refraktionstafel Abb. 5 die Höhe der also brechenden Luftschicht in km abgelesen werden. Man hat:

$$2\rho = \pi_{\odot} + \pi_{☾} - R - r_{\odot}. \qquad \text{IIIa}$$

Alle fernerl in erwähnten Berechnungen sind für mittleren Abstand Sonne—Erde und kleinsten Abstand Erde—Mond durchgeführt, sodaß man erhält:

$$2\rho = 61{,}6' - (R + r). \qquad \text{IIIb}$$

Für die ganze Sonnenscheibe ist der mittlere Radius, d. h. die Entfernung r eines Randpunktes von der Zentrallinie, $= 16{,}0'$. Wenn man, wie bisher üblich, den sichtbaren dunklen Erdschatten als „Kern"schatten ansieht, so wird im Perigäum sein Radius:

$$R_k = 61{,}6' - 16' = 45{,}6' + {}^1/_{50} = \mathbf{46{,}5'}.$$

Ich teile nun zwei parallele Durchmesser auf Sonnen- und Schattenscheibe von der Mitte aus in Abschnitte von je 2′ scheinbarer Länge (Abb. 6), lasse einen Lichtstrahl aus jedem Teilmittelpunkt der Sonne nach jedem Teilendpunkt des Schattens ziehen, berechne die zugehörigen Werte 2ρ und entnehme damit aus der Refraktionstafel (Abb. 6) die km-Höhen der vom Strahl gestreiften Luftschichten.

Die Werte 2ρ in Minuten sind in Tabelle I gegeben (hinten), allerdings nur am Anfang und in einigen Diagonalreihen der eigentlichen Werttabelle, da sie für jede Diagonalreihe von links unten nach rechts oben gleich bleiben. Die Luft-km sind die fettgedruckten Ziffern. Am untern Rand der Tabelle kommen diese nochmals vor, zusammen mit dem sogenannten Transmissionskoeffizienten i, welcher angibt, wieviel Prozent der Anfangshelligkeit vor Eintritt eines Lichtstrahls in die Erdatmosphäre noch übrig bleibt nach Austritt aus derselben. (Siehe darüber Seite 207).

6. Helligkeit des Lichtes im Schattenraume.

Es wäre nun möglich, bereits aus diesen Zahlen der Tabelle I mancherlei Schlüsse zu ziehen. Wenn aber noch die Helligkeit für die Radienpunkte des Schattens in

einer Zahl beigefügt werden kann, so stellt eine solche Tabelle in einer gewissen Vollständigkeit alles dar, was über den Gegenstand unserer Betrachtung an Tatsachen- und Rechnungsmaterial nötig ist.

Denkt man sich selber vom Rande des Schattenquerschnittes her gegen dessen Mittelpunkt schreitend, so würde die Sonnenscheibe immer mehr von der Erdkugel verdeckt. Aus mittlerer Erdentfernung hat die Erdscheibe, vom Mond aus gesehen, einen scheinbaren Radius von rund 58′, die Sonne einen solchen von 16′. Ich lege deshalb über die Sonnenscheibe durch die oben erwähnten Teilpunkte eines Durchmessers Kreisbögen von 58′ Radius (in größerem Maßstab als in Abb. 7) und teile so die Fläche der Sonnenscheibe in Streifen von je 2′ Breite. (Abb. 7.) Setzt man die Helligkeit der ganzen Sonnenscheibe (nicht Kugeloberfläche) = 100 %, unter Annahme, daß jeder Punkt gleiche Helligkeit habe, so ist die Helligkeit jedes einzelnen Streifens gleich der Streifenfläche, in Prozent der ganzen Sonnenscheibe ausgedrückt, als Maßzahl verwendbar. Die Flächen sind einfach einer Zeichnung entnommen, die Streifen mit dem Radius $\pm r$ ihres mittleren Punktes benannt. Weil die Lichtstrahlen aus allen Punkten eines Streifens ungefähr durch dieselbe Luftschicht nach einem der Schattenpunkte gelangen, darf man näherungsweise die Helligkelt des ganzen Streifens einem Strahl aus dem mittleren Streifenpunkte zuschreiben und erhält jetzt folgende Ausgangshelligkeiten für diese Strahlen:

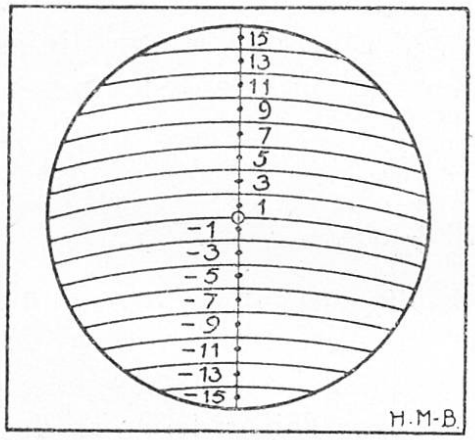


Abb. 7. Die Sonnenscheibe, wie sie, vom Mond aus gesehen, nach und nach durch die Erdscheibe verdeckt oder freigegeben wird.

Sonnen-Streifen	+15′	+13′	+11′	+9′	+7′	+5′	+3′	+1′	−1′	−3′	−5′	−7′	−9′	−11′	−13′	−15′
Fläche-Helligkeit % ⊙	3,0	5,1	6,4	7,2	7,6	7,9	8,1	8,0	7,9	7,6	7,2	6,6	6,0	5,3	4,1	2,0

Diese Zahlen bilden in Tabelle I die beiden fettgedruckten Spalten.

Ein Strahl aus Sonnenteil + 15′ z. B. hat die Helligkeit 3 % (der Helligkeit der ganzen Sonnenscheibe, kurz mit 3 % ⊙ bezeichnet). Geht er durch die Erdatmosphäre, so tritt er mit geschwächter Helligkeit wieder aus. Diese letztere verglichen mit der ersten gibt die Zahl i, d. h. das Verhältnis $i = \frac{J}{J_0}$ = Austrittshelligkeit dividiert durch Eintrittshelligkeit. i wird Transmissionskoeffizient genannt und, wie gesagt, in Tabelle I unter jedem Luft-km in Prozent beigesetzt.

Als die vorliegende Arbeit bis zur Bestimmung dieser i-Werte gediehen war, fand ich einen Bericht von J. v. Hepperger,[1] welcher zum Teil dasselbe Ziel verfolgt und in einer Tabelle (S. 36/37) diese berechneten i-Werte für 0 bis 107 km Höhe gibt. Ebenda waren auch die doppelten Refraktionswinkel 2ρ (dort 2 ⊙) enthalten. Eine Kurve derselben deckt sich mit der meinigen befriedigend.

Für rund 44 km Höhe findet J. v. Hepperger: $i = 90$ % und $2\rho < 0{,}5'$, sodaß man übereinstimmend für den 40. km, mit welchem ich die wirksame Atmosphäre vereinfachend begrenze, $2\rho = 0$ setzen kann.

Multipliziert man die Helligkeitszahl jedes von der Sonne ausgehenden Strahls (% ⊙) mit dem i des entsprechenden Luft-kms für jeden Punkt eines Schattenradius, so wird eine Zahl gewonnen für die Helligkeit jedes Lichtstrahls, der in einem bestimmten Schattenpunkt eintrifft. Diese Zahlen sind endlich ebenfalls in Tabelle I eingetragen. Tabelle I vereinigt damit alle Größen und Beziehungen, welche für die gewünschten Untersuchungen nötig sind.

II. Ergebnisse.

7. Durch welche innersten Luftschichten gelangt das Licht in den Schatten von 46′ Radius (im Perigäum)?

Man sucht in Tabelle I oben die Zeile mit den Schattenpunkten (z. B. Perigäum), links die Spalte mit den Sonnenteilen, daneben links die % ⊙ und geht in der Zeile des

[1] Hepperger J. v., Ueber die Helligkeit des verfinsterten Mondes und die scheinbare Vergrößerung des Erdschattens. Wien 1895. In Kommission bei F. Tempsky.

gewählten Sonnenteils nach rechts bis unter den gewählten Schattenpunkt. Dann findet man z. B., daß Lichtstrahlen ausgehen aus

⊙ Teil	+15′	mit Helligkeit	3,0 % ⊙	über	40,0 km,	in Schattenpunkt	46′
⊙ -	+13′ -	-	5,1 % ⊙	-	31,4 -	- -	46′
⊙ -	+15′ -	-	3,0 % ⊙	-	31,4 -	- -	44′

Beginnt man in Spalte 7 (neben Sonnenteil) mit irgend einem Luft-km, geht diagonal rechts aufwärts und addiert stets aus Spalte % ⊙ die zugehörigen Werte in derselben Zeile, so erhält man die Summe der Helligkeit aller ungeschwächten Strahlen, welche aus verschiedenen Sonnenteilen über denselben Luft-km nach dem Schatten hin unterwegs sind. (Siehe den Strahlengang Abb. 8 a.) In Tabelle II sind diese Werte herausgeschrieben; endlich sind diese Helligkeiten von km zu km addiert,[1] dazu auch jene der Strahlen, die „unter" der Erde weg noch in den „obern" Radius des Schattens gelenkt werden. Man erhält als Gesamthelligkeit für alle Strahlen (aus allen Sonnenteilen), welche nach den ausgewählten Schattenpunkten (in 2′ zu 2′ Radius) hingehen, die Zahl 2970,1 % ⊙. Setzt man diese Zahl = 100 %, so zeigt eine Spalte 3 in Tabelle II, daß z. B. alle jene Sonnenstrahlen, welche durch 0 bis 4,0 km Luftschicht streichen, ursprünglich 50,13 all dieser Helligkeit enthalten.

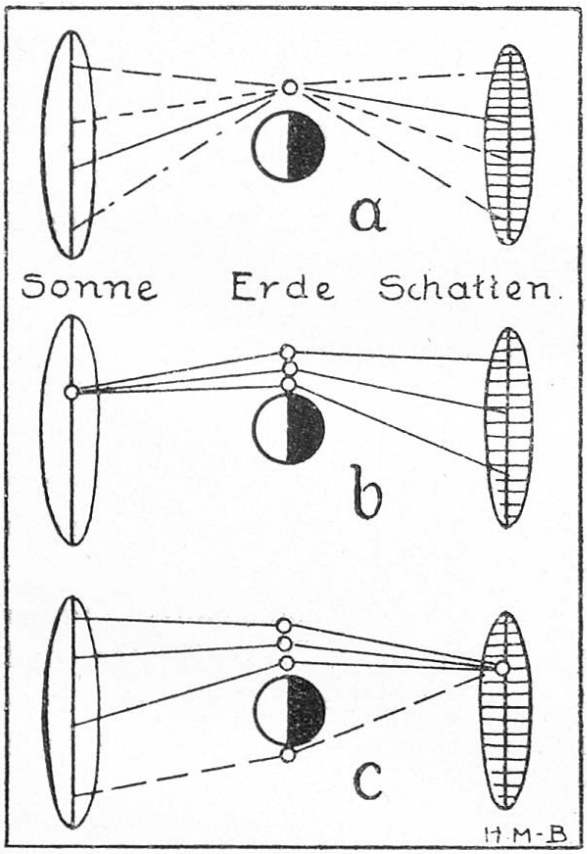


Abb. 8. Gang der Lichtstrahlen von Sonne durch Erdatmosphäre zum Querschnitt durch den Erdschatten.

[1] Das Zeichen Σ_0^x km in den Tabellen bedeutet: Summe der Helligkeiten von 0 bis x km.

Doppelte Refraktion = 2ρ' ; Höhe der entsprechenden Luft-Schicht = km ; Helligkeit in den Schattenpunkten = % ⊙. Tab. I.

Schattenpunkte						Apogaeum →																																			
						Perigaeum →	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	A'	
							46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8	-10	P'	
Summe der Summen		% Summen		% ⊙	⊙ Teil		2,640	5,734	7,364	8,506	8,846	8,481	7,693	6,768	6,667	4,608	3,649	2,810	2,126	1,643	1,278	0,900	0,651	0,502	0,352	0,231	0,203	0,151	0,100	0,061	0,029	0,021	0,014	0,010	0,000		
818,5	↓ 3,0	100	↓ 3,0	3,0	15'	0,6' 40,0 2,640	2,6' 31,4 2,124	4,6' 25,3 1,524	6,6' 22,1 1,176	8,6' 19,7 0,906	10,6' 17,7 0,684	12,6' 16,0 0,511	14,6' 14,6 0,381	16,6' 13,9 0,327	18,6' 12,2 0,201	20,6' 11,2 0,144	22,6' 10,3 0,102	24,6' 9,5 0,072	26,6' 8,8 0,053	28,6' 8,2 0,039	30,6' 7,5 0,027	32,6' 6,9 0,020	34,6' 6,4 0,015	36,6' 5,8 0,011	38,6' 5,3 0,008	40,6' 4,8 0,006	42,6' 4,4 0,005	44,6' 4,0 0,003	46,6' 3,6 0,002	48,6' 3,2 0,001	50,6' 2,9 0,001	52,6' 2,5 0,000	54,6' 2,2 0	56,6' 1,9 0	2ρ' km %	
718,5	11,1	97,0	8,1	5,1	13'	2,6' 31,4 3,610	25,3 2,590	22,1 2,000	19,7 1,540	10,6' 17,7 1,162	16,0 0,859	14,6 0,648	13,9 0,536	12,2 0,341	20,6' 11,2 0,245	10,3 0,173	9,5 0,123	8,8 0,080	8,2 0,066	30,6' 7,5 0,046	6,9 0,033	6,4 0,026	5,8 0,018	40,6' 4,8 0,010	4,4 0,008	4,0 0,005	3,6 0,003	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,000	1,9 0	58,6' 1,6 0	= 2ρ km %	
621,5	25,6	91,9	14,5	6,4	11'	4,6' 25,3 3,250	22,1 2,508	19,7 1,932	10,6' 17,7 1,459	16,0 1,087	14,6 0,813	13,9 0,698	12,2 0,429	20,6' 11,2 0,307	10,3 0,218	9,5 0,153	8,8 0,112	8,2 0,083	30,6' 7,5 0,058	6,9 0,042	6,4 0,032	5,8 0,023	5,3 0,016	40,6' 4,8 0,013	4,4 0,010	4,0 0,006	3,6 0,004	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	= 2ρ km %	
529,0	47,3	85,5	21,7	7,2	9'	6,6' 22,1 2,822	19,7 2,174	10,6' 17,7 1,642	16,0 1,224	14,6 0,915	13,9 0,785	12,2 0,482	20,6' 11,2 0,346	10,3 0,245	9,5 0,173	8,8 0,126	8,2 0,094	30,6' 7,5 0,065	6,9 0,047	6,4 0,036	5,8 0,025	5,3 0,018	40,6' 4,8 0,016	4,4 0,011	4,0 0,007	3,6 0,004	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	62,6' 1,0 0	= 2ρ' Km %	
444,1	76,0	78,3	29,3	7,6	7'	8,6' 19,7 2,294	10,6' 17,7 1,733	12,6' 16,0 1,292	14,6' 14,6 0,963	16,6' 13,9 0,818	18,6' 12,2 0,509	20,6' 11,2 0,365	22,6' 10,3 0,259	24,6' 9,5 0,182	26,6' 8,8 0,133	28,6' 8,2 0,098	30,6' 7,5 0,068	32,6' 6,9 0,049	34,6' 6,4 0,038	36,6' 5,8 0,027	38,6' 5,3 0,019	40,6' 4,8 0,015	42,6' 4,4 0,011	44,6' 4,0 0,008	46,6' 3,6 0,005	48,6' 3,2 0,002	50,6' 2,9 0,002	52,6' 2,5 0,001	54,6' 2,2 0,001	56,6' 1,9 0,000	58,6' 1,6 0	60,6' 1,3 0	62,6' 1,0 0	64,6' 0,7 0	= 2ρ' Km %	
365,8	113,8	70,7	37,2	7,9	5'	10,6' 17,7 1,801	16,0 1,343	14,6 1,003	13,9 0,861	12,2 0,529	20,6' 11,2 0,379	10,3 0,269	9,5 0,190	8,8 0,138	8,2 0,103	30,6' 7,5 0,071	6,9 0,051	6,4 0,040	5,8 0,028	5,3 0,020	40,6' 4,8 0,016	4,4 0,012	4,0 0,008	3,6 0,005	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,002	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	66,6' 0,4 0	= 2ρ' Km %	
295,1	159,1	62,8	45,3	8,1	3'	12,6' 16,0 1,377	14,6 1,029	13,9 0,883	12,2 0,543	20,6' 11,2 0,389	10,3 0,275	9,5 0,194	8,8 0,142	8,2 0,105	30,6' 7,5 0,073	6,9 0,053	6,4 0,041	5,8 0,028	5,3 0,020	40,6' 4,8 0,016	4,4 0,012	4,0 0,008	3,6 0,005	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,002	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	68,6' 0,1 0	= 2ρ' Km %	
232,3	212,4	54,7	53,3	8,0	1'	14,6' 14,6 1,016	13,9 0,872	12,2 0,536	20,6' 11,2 0,384	10,3 0,272	9,5 0,192	8,8 0,140	8,2 0,104	30,6' 7,5 0,072	6,9 0,052	6,4 0,040	5,8 0,028	5,3 0,020	40,6' 4,8 0,016	4,4 0,012	4,0 0,008	3,6 0,005	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' Km %	
177,6	273,6	46,7	61,2	7,9	-1'	16,6' 13,9 0,801	18,6' 12,2 0,539	20,6' 11,2 0,379	22,6' 10,3 0,269	24,6' 9,5 0,190	26,6' 8,8 0,138	28,6' 8,2 0,103	30,6' 7,5 0,071	32,6' 6,9 0,051	34,6' 6,4 0,040	36,6' 5,8 0,028	38,6' 5,3 0,020	40,6' 4,8 0,016	42,6' 4,4 0,012	44,6' 4,0 0,008	46,6' 3,6 0,005	48,6' 3,2 0,002	50,6' 2,9 0,002	52,6' 2,5 0,001	54,6' 2,2 0,001	56,6' 1,9 0,000	58,6' 1,6 0	60,6' 1,3 0	62,6' 1,0 0	64,6' 0,7 0	66,6' 0,4 0	68,6' 0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' Km %		
130,9	342,4	38,8	68,8	7,6	-3'	18,6' 12,2 0,509	20,6' 11,2 0,365	10,3 0,259	9,5 0,182	8,8 0,133	8,2 0,098	30,6' 7,5 0,068	6,9 0,049	6,4 0,038	5,8 0,027	5,3 0,019	40,6' 4,8 0,015	4,4 0,011	4,0 0,008	3,6 0,005	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,002	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' Km %		
92,1	418,4	31,2	76,0	7,2	-5'	20,6' 11,2 0,346	10,3 0,245	9,5 0,173	8,8 0,126	8,2 0,094	30,6' 7,5 0,065	6,9 0,047	6,4 0,036	5,8 0,025	5,3 0,018	40,6' 4,8 0,016	4,4 0,011	4,0 0,007	3,6 0,004	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' Km %			
60,9	501,0	24,0	82,6	6,6	-7'	22,6' 10,3 0,224	24,6' 9,5 0,158	26,6' 8,8 0,115	28,6' 8,2 0,091	30,6' 7,5 0,059	32,6' 6,9 0,043	34,6' 6,4 0,033	36,6' 5,8 0,023	38,6' 5,3 0,017	40,6' 4,8 0,013	42,6' 4,4 0,010	44,6' 4,0 0,007	46,6' 3,6 0,004	48,6' 3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	52,6' 2,5 0,001	54,6' 2,2 0,001	56,6' 1,9 0,000	58,6' 1,6 0	60,6' 1,3 0	62,6' 1,0 0	64,6' 0,7 0	66,6' 0,4 0	68,6' 0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' Km %				
36,9	589,6	17,4	88,6	6,0	-9'	24,6' 9,5 0,144	8,8 0,105	8,2 0,078	30,6' 7,5 0,054	6,9 0,039	6,4 0,030	5,8 0,021	5,3 0,015	40,6' 4,8 0,012	4,4 0,009	4,0 0,006	3,6 0,004	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,001	1,9 0,000	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ km %					
19,5	683,5	11,4	93,9	5,3	-11'	26,6' 8,8 0,093	8,2 0,069	30,6' 7,5 0,048	6,9 0,035	6,4 0,027	5,8 0,019	5,3 0,013	40,6' 4,8 0,011	4,4 0,008	4,0 0,005	3,6 0,003	3,2 0,002	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,000	1,9 0	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' km %						
8,1	781,5	6,1	98,0	4,1	-13'	28,6' 8,2 0,053	30,6' 7,5 0,037	6,9 0,027	6,4 0,020	5,8 0,014	5,3 0,010	40,6' 4,8 0,008	4,4 0,006	4,0 0,004	3,6 0,002	3,2 0,001	50,6' 2,9 0,001	2,5 0,001	2,2 0,000	1,9 0	1,6 0	60,6' 1,3 0	1,0 0	0,7 0	0,4 0	0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' km %							
2,0 ↑	881,5	2,0 ↑	100	2,0	-15'	30,6' 7,5 0,018	32,6' 6,9 0,013	34,6' 6,4 0,010	36,6' 5,8 0,007	38,6' 5,3 0,005	40,6' 4,8 0,004	42,6' 4,4 0,003	44,6' 4,0 0,002	46,6' 3,6 0,001	48,6' 3,2 0,001	50,6' 2,9 0,000	52,6' 2,5 0	54,6' 2,2 0	56,6' 1,9 0	58,6' 1,6 0	60,6' 1,3 0	62,6' 1,0 0	64,6' 0,7 0	66,6' 0,4 0	68,6' 0,1 0	70,6' 0 0	= 2ρ' Km %									
Summen d. Helligkeiten → für jeden Schattenpunkt.							21,058	15,894	11,931	8,934	6,637	4,903	3,603	2,620	1,873	1,313	0,941	0,679	0,488	0,354	0,255	0,182	0,133	0,095	0,067 0,000	0,046 0,001	0,030 0,002	0,020 0,003	0,011 0,004	0,007 0,007	0,004	0,003	0,002	0,001	0,000		
							Grauer Saum.							Bunter Kern.											0,067	0,047	0,032	0,023	0,015	0,014	→ im Perigaeum. ↑ Für 0' genauer 0,028 ‰						
																	0,000 0,941	0,001 0,680	0,002 0,490	0,003 0,357	0,004 0,259	0,007 0,189	0,011 0,144	0,020 0,115	0,030 0,097	0,046 0,092	→ im Apogaeum. → Für 0' genauer 0,150 ‰											

Ch. Meyer-Bührer.

Obere Zahl = Luft-km ; untere Zahl = Transmissions-Koëffizient in %. (Nach J. von Hepperger)

40,0	31,4	25,3	22,1	19,7	17,7	16,0	14,6	13,9	12,2	11,2	10,3	9,5	8,8	8,2	7,5	6,9	6,4	5,8	4,8	4,4	4,0	3,6	3,2	2,9	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7	0,4	0,1	Km
88,0	70,8	50,8	39,2	30,2	22,8	17,0	12,7	10,9	6,7	4,8	3,4	2,4	1,75	1,3	0,9	0,65	0,50	0,35	0,25	0,15	0,10	0,06	0,03	0,02	0,014	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,000	0	%

Tabelle II für Luftschichten.

Km	Helligkeit des ungeschwächten Lichtes. % allen Lichts je Km	Σ_0^x Km	% ⊙ Scheibe je Km	Σ_0^x Km	Helligkeit des geschwächten Lichtes. % ⊙ Scheibe je Km	Σ_0^x Km	% von 82,052 Σ_0^x Km	% von 2970,1 ⊙ Σ_0^x Km
0,0	3,57	3,57	106,0	106,0	0	0	0	0
0,1	3,59	7,16	106,6	212,6	0	0	0	0
0,4	3,61	10,77	107,2	319,8	0	0	0	0
0,7	3,62	14,39	107,6	427,4	0	0	0	0
1,0	3,63	18,02	107,9	535,3	0	0	0	0
1,3	3,64	21,66	108,0	643,3	0	0	0	0
1,6	3,64	25,30	108,1	751,3	0	0	0	0
1,9	3,63	28,93	107,9	359,3	0,000	0,000	0,000	0,000
2,2	3,62	32,55	107,6	966,9	0,010	0,010	0,012	0,000
2,5	3,61	36,16	107,2	1074,1	0,014	0,024	0,029	0,001
2,9	3,59	39,75	106,4	1180,5	0,021	0,045	0,055	0,002
3,2	3,54	43,29	105,1	1285,6	0,029	0,074	0,090	0,002
3,6	3,47	46,76	103,0	1388,6	0,061	0,135	0,16	0,005
4,0	3,37	50,13	100,0	1488,6	0,100	0,235	0,29	0,008
4,4	3,37	53,50	100,0	1588,6	0,151	0,386	0,47	0,013
4,8	3,37	56,87	100,0	1688,6	0,203	0,589	0,72	0,020
5,3	3,37	60,24	100,0	1788,6	0,251	0,840	1,02	0,028
5,9	3,37	63,61	100,0	1888,6	0,352	1,192	1,45	0,040
6,4	3,37	66,98	100,0	1988,6	0,502	1,694	2,06	0,057
6,9	3,37	70,35	100,0	2088,6	0,651	2,345	2,86	0,079
7,5	3,37	73,72	100,0	2188,6	0,900	3,245	3,96	0,109
8,2	3,30	77,02	98,0	2286,6	1,278	4,523	5,52	0,152
8,8	3,16	80,18	93,9	2380,5	1,643	6,166	7,52	0,208
9,5	2,98	83,16	88,6	2469,1	2,126	8,292	10,11	0,262
10,3	2,78	85,94	82,6	2551,7	2,810	11,102	13,53	0,374
11,2	2,55	88,49	76,0	2627,7	3,649	14,751	17,97	0,497
12,2	2,31	90,80	68,8	2696,5	4,608	19,359	23,60	0,652
13,9	2,06	92,86	61,2	2757,7	6,661	26,020	31,70	0,876
14,6	1,79	94,65	53,3	2811,0	6,768	32,788	40,00	1,036
16,0	1,52	96,17	45,3	2856,3	7,693	40,481	49,33	1,386
17,7	1,25	97,42	37,2	2893,4	8,481	48,962	59,67	1,648
19,7	0,99	98,41	29,3	2922,7	8,846	57,808	70,46	1,945
22,1	0,73	99,14	21,7	2944,4	8,506	66,314	80,80	2,230
25,3	0,49	99,63	14,5	2958,9	7,364	73,678	89,80	2,480
31,4	0,47	99,90	8,1	2967,0	5,734	79,412	96,80	2,672
40,0	0,10	100,00	3,0	2970,1	2,640	82,052	100,00	2,763
	100,00		2970,1		82,052			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabelle III für Schattenpunkte (im Perigaeum)

Punkt r'	Helligkeit des ungeschwächten Lichtes. % allen Lichts je Punkt	$\Sigma_0^{r'}$ Pkte	% ⊙ Scheibe je Punkt	$\Sigma_0^{r'}$ Pkte.	Helligkeit des geschwächten Lichtes. % ⊙ Scheibe je Punkt	$\Sigma_0^{r'}$ Pkte	% von 82,052 $\Sigma_0^{r'}$ Pkte.	% von 2970,1 ⊙ $\Sigma_0^{r'}$ Pkte.
0'	5,96	5,96	177,2	177,2	0,014	0,014	0,017	0,000
2	5,94	11,90	176,5	353,7	0,015	0,029	0,035	0,001
4	5,86	17,76	174,0	527,7	0,023	0,052	0,063	0,002
6	5,65	23,41	168,8	696,5	0,032	0,084	0,102	0,003
8	5,43	28,84	161,2	857,7	0,047	0,131	0,159	0,004
10	5,16	34,00	153,3	1011,0	0,067	0,198	0,241	0,007
12	4,90	38,90	145,3	1156,3	0,095	0,293	0,354	0,010
14	4,62	43,52	137,2	1293,5	0,133	0,426	0,516	0,014
16	4,35	47,87	129,3	1422,8	0,182	0,608	0,738	0,020
18'	4,10	51,97	121,7	1544,5	0,255	0,863	1,050	0,029
20	3,85	55,82	114,5	1659,0	0,354	1,217	1,482	0,041
22	3,64	59,46	108,1	1767,1	0,488	1,705	2,076	0,057
24	3,47	62,93	103,0	1870,1	0,679	2,384	2,904	0,080
26	3,37	66,30	100,0	1970,1	0,941	3,325	4,052	0,105
28	3,37	69,67	100,0	2070,1	1,313	4,638	5,654	0,138
30	3,37	73,04	100,0	2170,1	1,873	6,511	7,937	0,219
32	3,37	76,41	100,0	2270,1	2,620	9,131	11,130	0,307
34'	3,37	79,78	100,0	2370,1	3,603	12,734	15,520	0,428
36	3,37	83,15	100,0	2470,1	4,903	17,637	21,500	0,593
38	3,37	86,52	100,0	2570,1	6,639	24,276	29,590	0,816
40	3,37	89,89	100,0	2670,1	8,934	33,210	40,470	1,050
42	3,37	93,26	100,0	2770,1	11,901	45,111	54,970	1,426
44	3,37	96,63	100,0	2870,1	15,894	61,005	74,340	1,928
46	3,37	100,00	100,0	2970,1	21,058	82,065	100,00	2,758
	100,00		2970,1		82,065			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabelle IV für Luftschichten.

Km	Helligkeit des ungeschwächten Lichts, % ⊙					
	Für jeden Km im			Σ für je 0 bis x Km im		
	ganzen Schatten	grauen Saum	bunten Kern	ganzen Schatten	grauen Saum	bunten Kern
0,0	106,0	0	106,0	106,0	0	106,0
0,1	106,6	0	106,6	212,6	0	212,6
0,4	107,2	0	107,2	319,8	0	319,8
0,7	107,6	0	107,6	427,9	0	427,9
1,0	107,9	0	107,9	535,3	0	535,3
1,3	108,0	0	108,0	643,3	0	643,3
1,6	108,1	0	108,1	751,3	0	751,3
1,9	107,9	0	107,9	859,3	0	859,3
2,2	107,8	0	107,8	966,9	0	966,9
2,5	107,2	0	107,2	1074,1	0	1074,1
2,9	106,4	0	106,4	1180,5	0	1180,5
3,2	105,1	0	105,1	1285,6	0	1285,6
3,6	103,0	0	103,0	1388,6	0	1388,6
4,0	100,0	0,0	100,0	1488,6	0,0	1488,6
4,4	100,0	2,0	98,0	1588,6	2,0	1586,6
4,8	100,0	6,1	93,9	1688,6	8,1	1680,5
5,3	100,0	11,4	88,6	1788,6	19,5	1769,1
5,9	100,0	17,4	82,6	1888,6	36,9	1851,7
6,4	100,0	24,0	76,0	1988,6	60,9	1927,7
6,9	100,0	31,2	68,8	2088,6	92,1	1996,5
7,5	100,0	38,8	61,2	2188,6	130,9	2057,7
8,2	98,0	44,7	53,3	2286,6	175,6	2111,0
8,8	93,9	48,6	45,3	2380,5	224,2	2156,3
9,5	88,6	51,4	37,2	2469,1	275,6	2193,5
10,3	82,6	53,3	29,3	2551,7	328,9	2222,8
11,2	76,0	54,3	21,7	2627,2	383,2	2244,5
12,2	68,8	54,3	14,5	2696,5	437,5	2259,0
13,9	61,2	53,1	8,1	2757,7	490,6	2267,1
14,6	53,3	50,3	3,0	2811,0	540,9	2270,1
16,0	45,3	45,3	0,0	2856,3	586,2	2270,1
17,7	37,2	37,2	0	2893,4	623,4	2270,1
19,7	29,3	29,3	0	2922,7	652,7	2270,1
22,1	21,7	21,7	0	2944,4	674,4	2270,1
25,3	14,5	14,5	0	2958,9	688,9	2270,1
31,4	8,1	8,1	0	2967,0	697,0	2270,1
40,0	3,0	3,0	0	2970,1	700,0	2270,1
1	2	3	4	5	6	7

Tabelle V für Luftschichten.

Km	Helligkeit des geschwächten Lichtes, % ⊙						In % d. Lichts i. Schatten		
	Für jeden Km im			Σ für je 0 bis x Km im			v. 82,05 im ganzen Schatten	v. 72,93 im grauen Saum	v. 9,12 im bunten Kern
	ganzen Schatten	grauen Saum	bunten Kern	ganzen Schatten	grauen Saum	bunten Kern			
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,9	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,00
2,2	0,010	0	0,010	0,010	0	0,010	0,012	0	0,11
2,5	0,014	0	0,014	0,024	0	0,024	0,029	0	0,26
2,9	0,021	0	0,021	0,045	0	0,045	0,055	0	0,49
3,2	0,029	0	0,029	0,074	0	0,074	0,09	0	0,81
3,6	0,061	0	0,061	0,135	0	0,135	0,16	0	1,48
4,0	0,100	0,000	0,100	0,235	0,000	0,235	0,29	0,000	2,58
4,4	0,151	0,003	0,148	0,386	0,003	0,383	0,47	0,004	4,20
4,8	0,203	0,012	0,191	0,589	0,015	0,574	0,72	0,021	6,29
5,3	0,251	0,028	0,223	0,840	0,043	0,797	1,02	0,059	8,74
5,9	0,352	0,061	0,291	1,192	0,104	1,087	1,45	0,143	11,92
6,4	0,502	0,120	0,382	1,694	0,224	1,470	2,06	0,307	16,12
6,9	0,651	0,204	0,447	2,345	0,428	1,917	2,86	0,587	21,01
7,5	0,900	0,349	0,551	3,245	0,777	2,468	3,96	1,07	27,05
8,2	1,278	0,586	0,692	4,523	1,363	3,160	5,52	1,87	34,70
8,8	1,643	0,850	0,793	6,166	2,213	3,953	7,52	3,04	43,33
9,5	2,126	1,233	0,893	8,292	3,446	4,846	10,11	4,73	53,13
10,3	2,810	1,813	0,997	11,102	5,259	5,843	13,53	6,53	64,08
11,2	3,649	2,607	1,042	14,751	7,866	6,885	17,97	10,78	75,45
12,2	4,608	3,637	0,971	19,359	11,503	7,856	23,60	15,78	86,10
13,9	6,661	5,778	0,883	26,020	17,281	8,739	31,70	23,72	95,80
14,6	6,768	6,387	0,381	32,788	23,668	9,120	40,00	32,43	100,00
16,0	7,693	7,693	0,000	40,481	31,361	9,120	49,33	43,02	100,00
17,7	8,481	8,481	0	48,962	39,842	9,120	59,67	54,32	100,00
19,7	8,846	8,846	0	57,808	48,688	9,120	70,46	66,75	100,00
22,1	8,506	8,506	0	66,314	57,194	9,120	80,80	78,42	100,00
25,3	7,364	7,364	0	73,678	64,558	9,120	89,80	88,52	100,00
31,4	5,734	5,734	0	79,412	70,292	9,120	96,80	96,42	100,00
40,0	2,641	2,641	0	82,053	72,933	9,120	100,00	100,00	100,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Ergebnis (Tabelle II, Spalten 3 und 5):

a. Die Hälfte der Helligkeit allen Lichtes, 2970,1 : 2 = 1485,05 % ⊙ = 50,13 %, enthalten jene Strahlen, die durch 0 bis 4,0 km Luft streichen.

b. Dreiviertel allen Lichtes (kurz „Licht" statt „Helligkeit allen Lichtes"), 2197,2 % ⊙, geht durch 0—7,5 km Luft (2188,6 bis km 7,5).

c. Nur ein Viertel allen Lichtes, welches nach den Punkten des Schattenradius hin unterwegs ist, streicht über höhere Luftschichten als 7,8 km!

In Tabelle I gehört jede Zahlengruppe an der Schnittstelle einer Zeile mit einer Spalte je einem besondern Lichtstrahlenbündel an, das aus dem Sonnenteile derselben Zeile, links, stammt. Man kann daraus weiter ablesen, daß die Strahlen aus Sonnenteil — 15′ (genauer aus dem Sonnenrandpunkt — 16′) immer einen Halbschatten der Erdkugel mitsamt der angeschriebenen Luftschicht (Luft-km) begrenzen. Daraus weitere Ergebnisse:

d. Der Halbschatten der Erde + 4,0 km Lufthülle hat (Tab. I) 32′ Radius (genauer 33′). Es ist das aber, nach Beobachtung, der Radius des bunten Kerns im Schatten.

Der Halbschatten der Erde + 7,8 km Lufthülle hat rund 46′ Radius (genauer rund 47′). Das ist der Radius des ganzen beobachteten dunklen Schattens (alles für Perigäum gültig).

e. Tatsächlich wird demnach alles Licht merklich verdunkelt und nach Rot hin verfärbt, wenn es die Erde in weniger als 4,0 km Abstand streift; es wird überhaupt noch merklich verdunkelt, aber kaum mehr verfärbt, wenn es die Erde in weniger als 7,8 km Abstand streift. (Siehe Abschnitt 9 u. 11.) Unmerklich oder gar nicht beeinflußt bleibt es beim Durchlaufen nur höherer Luftschichten.

f. Daß es wirklich die genannten untern, dichten Luftschichten hauptsächlich sind, welche das durchgehende Licht stark absorbieren, ist fast selbstverständlich, geht aber auch aus folgender Ueberlegung hervor:

Der Schatten geht bei 47′ Radius tatsächlich rasch in beinahe volles Licht über. Berechnet man die Weglängen innerhalb der äußern Luftschichten 7,5—40 km für Strahlen,

welche die Erde in 0, 2,5, 5 usw. bis 17,5 km Abstand streifen, so findet man, ohne Refraktion bestimmt, was folgt:

Tangente in Höhe . . .	0	2,5	5	7,5 km
Weglänge zw. 0—7,5 km	608	508	356	0 -
- - 7,5—40 -	817	876	936	1188 -

Trotzdem die Weglängen in den äußern Schichten zunehmen, wird der Schatten doch heller, denn die Weglänge innerhalb der innern Schicht nimmt rasch ab. Das würde zwar auch für eine dickere innere Luftschicht zutreffen; aber der beobachtete Halbschatten ist als äußerste Schattengrenze eben ein Halbschatten nur dieser 7,5 km-Schicht, wegen Refraktion!

8. Verdunkelung des Lichtes beim Durchgang durch die Luft.

Zur Berechnung der Helligkeit der Lichtstrahlen nach Austritt aus der Erdatmosphäre haben die Transmissionskoëffizienten gedient. Die Ausgangswerte zur Berechnung dieser selbst sind zwar aus Beobachtungen an der Erdoberfläche (etwa in Meereshöhe und in Säntishöhe) gewonnen worden, also für Strahlen, welche alle Luftschichten erst einmal durchlaufen hatten. Daraus ist nicht sicher zu bestimmen, daß die Absorptionsfähigkeit mit stetig zunehmender Höhe der Schichten auch stetig abnehme. Die Ergebnisse, die soeben dargelegt wurden, stützen sich dagegen auf die Refraktion der Luftschichten, und diese ist hauptsächlich von Luftdruck und Temperatur abhängig, welche Größen für mittleren Luftzustand berechnet bezw. gemessen werden können.

Die Absorptionsfähigkeit der Luft kann aber durch schwebende Teilchen in der Luft (Ruß, Staub, Eis, Dampfteilchen etc.) stark beeinflußt sein, ohne daß dies auch für die Refraktion der Fall sein muß. Deshalb gebe ich die mit i berechneten Austrittshelligkeiten der Strahlen in den Schattenpunkten (Tab. I) mit Vorbehalt wieder, ebenso, was im folgenden davon abhängt.

Summiert man in Tab. I längs einer Diagonalreihe das geschwächte Licht (die verminderten Helligkeiten), wie im vorhergehenden Abschnitt das ungeschwächte bestimmt wurde, d. h. die Zahlen, die in jedem Felde nun unter dem Luft-

kilometer stehen, so erhält man für jeden Luftkilometer die Helligkeitssumme, wie sie einerseits in Tab. I oben in der 3. Zeile in schiefen Zahlen stehen, andrerseits jene der Tab. II, Spalte 6 und von Kilometer° zu Kilometer× addiert, Spalte 7, in % ⊙. Daraus ist berechnet, wieviel Prozent Helligkeit alles ungeschwächten Lichtes (von 2970,1 % ⊙) nach Durchgang durch jeden Kilometer noch verblieb und Spalte 9 enthält diese Summen von 0 bis je gesuchter km, d. h. für die ganze Luftschicht.

Ergebnis: Tab. II.

a. Alle Spalten 6—9 zeigen, daß alles Licht, welches durch Luft zwischen 0—1,85 km oder 2 km streicht, ganz „verschluckt" wird. Nach Spalte 3 heißt das aber, daß überhaupt rund 30 % allen Lichtes, das nach dem Schatten hinzielte, vernichtet wird. Der Kernschatten der Erde + 2 km Luftschicht ist also lichtlos. Der Mond würde darin unsichtbar sein, doch beträgt der scheinbare Radius dieses Kernschattens nur — 10′, genau — 8′; es reicht seine Spitze nicht einmal bis zum kleinsten Abstand (Perigäum) des Mondes (siehe Abb. 3, Tafel II).

b. In Spalte 6 ist ein Maximum 8,846 % ⊙ für 19,7 km. Dasselbe hat keine besondere Bedeutung. Mit jedem höhern Luftkilometer muß die Helligkeit zunehmen. Nach Tab. I geht aber über 7,5 km zum letzten Mal Licht aus allen Sonnenteilen. Die Diagonalreihe 7,5 km reicht von — 15′ ⊙ bis hinauf zu + 15′ ⊙). (Vergleiche auch Tafel II, Abb. 5 mit Tafel III, Abb. 6.)

Der Aufhellung des Schattens wegen Zunahme der Luftverdünnung in höhern Schichten wirkt von da an die Helligkeitsabnahme durch Fehlen von Licht aus den „untern" Sonnenteilen entgegen und überwiegt schließlich. Ueber 19,7 km geht Licht nur aus den Sonnenteilen + 7′ bis + 15′, d. h. nur aus dem „obersten" Viertel des Sonnendurchmessers.

c. Ein Vergleich der Spalten 1, 3, 7 und 9 (Tab. II) läßt erkennen, daß jene Hälfte allen Lichtes, welche, wie bereits in Abschnitt 7 gesagt, durch die Luftschicht 0—4 km geht, dabei zu 0,235 % ⊙ bezw. zu 0,008 % allen Lichtes, welches nach allen angenommenen Schattenpunkten hingeht, verdunkelt wird. Es ist leicht zu begreifen, daß diese Luftschicht noch einen merklichen Schatten „wirft".

d. Jene Dreiviertel allen Lichtes, welches durch 0—7,5 km Luft ging, werden zu 3,245 % ⊙ oder zu 0,109 % aller Helligkeit verdunkelt. Auch diese Luftschicht muß noch einen spürbar dunklen Schatten haben.

e. Die ganze mögliche Helligkeit, 2970,1 % ⊙, wird beim Durchgang durch die Luftschicht 0—40 km so vermindert, daß sie nur noch mit 82,052 % ⊙ im Schatten vorkommt oder bis zu 2,763 % (Spalte 9, Tab. II) ihres ursprünglichen Helligkeitswertes abnimmt.

f. Spalte 8 sagt uns noch, daß alles Licht über 0—16,0 km Luft nötig ist, um rund die Hälfte (49,33 %) der Helligkeit zu erzeugen, welche überhaupt in einem Radius des Schattenraums vorhanden ist.

9. Helligkeit im grauen Saum und im bunten Kern im allgemeinen.

Addiert man aus Tabelle I, wie in Abschnitt 7 und 8 die Helligkeiten für ungeschwächtes und geschwächtes Licht in den Diagonalreihen für jeden Luft-km, aber innerhalb Saum bezw. Kern getrennt, so erhält man die Tabellen IV und V. Daraus entnehmen wir:

a. Ueber 0—4,0 km Luft geht in den Saum gar kein Licht. Im bunten Kern ist (siehe Abschnitt 7 a und 7 d) dadurch allein schon die Hälfte allen Lichtes enthalten, wozu aber noch (Tab. I) jenes Licht kommt, das bis über 14,6 km ging.

b. Ueber 1,55 Luft-km würden die Strahlen mit einer Maximalhelligkeit von 108,1 % ⊙ in den bunten Kern gehen; bis über 1,85 km Luft wird aber, wie wir sahen, alles Licht vernichtet.

c. Ueber den Luft-km 8,5, Mittel zwischen 8,2 und 8,8, geht nach Saum + Kern hin Licht mit je gleicher Helligkeit von rund 47 % ⊙ (Tab. IV, Spalten 3 u. 4), welches (Tab. V, Spalten 3 u. 4), zu je rund 0,7 % ⊙ verdunkelt wird.

d. Ueber den Luft-km 11,2 kommt das Maximum von Helligkeit in den Saum, nämlich 54,3 % ⊙ (Tab. IV, Spalte 3), und wird verdunkelt zu 2,607 % ⊙ (Tab. V, Spalte 3).

e. Von km 16,0 an gelangt kein Licht mehr in den bunten Kern. Was über diese und durch höhere Luftschichten

in den grauen Saum geht, kann nicht mehr merklich verfärbt sein, wie der Augenschein lehrt.

f. In den bunten Kern gehen im ganzen Strahlen mit zusammen 2270 % ⊙ und bewirken dort noch eine Gesamthelligkeit von 9,120 % ⊙.

In den grauen Saum gehen Strahlen mit ursprünglich 700 % ⊙ und werden verdunkelt zu 72,932 % ⊙.

In allen Punkten des ganzen Schattenradius würde man demnach eine ursprüngliche Helligkeit = 2970,1 % ⊙ haben, die aber durch die Atmosphäre bis zu 82,05 % ⊙, d. h. bis auf 2,76 % ihres Betrages vermindert wird (Tab. II, Spalten 4 u. 6).

10. Helligkeit in den einzelnen Punkten eines Schattenradius (im Perigäum).

Für jeden Schattenpunkt gilt der Strahlengang von Abb. 8 c. Geht aus allen Teilen des Sonnendurchmessers (Tab. I) Licht nach einem und demselben Schattenpunkt — was nur über verschiedene Luft-km geschehen kann —, so hat vor Durchgang durch die Luft dieses Licht die Helligkeit 100 % ⊙, d. h. die Summe der Werte in Spalte 5, Tabelle I. Der Tabelle I ist auch zu entnehmen, daß dasselbe im Perigäum für alle Punkte von 46′ bis + 6′ gilt. Für jeden folgenden innern Schattenpunkt fehlt das Licht aus einem „untern“ Sonnenteil mehr, bis Schattenpunkt — 24′.

Für das geschwächte Licht hat man nur die Zahlensumme (% ⊙) jeder Spalte zu bilden, wie sie in Tabelle I unten angefügt sind. Die Helligkeiten der Punkte mit Radius — 2′ bis — 24′ ist zu denen der Punkte mit Radius + 2′ bis + 24′ zu addieren und jene für Punkt 0′ (des Perigäums) doppelt zu nehmen für das Licht, welches „unter“ der Erde weg in den „obern“ Schattenradius gelangt.

In Tabelle III sind diese Summen für jeden Schattenpunkt zusammengestellt. Die Spalten 2—5 enthalten die % Helligkeiten ungeschwächten, Spalten 6—9 jene des geschwächten Lichtes.

Ergebnisse (Tafel III):

a. Wie aus Spalten 2 und 4 hervorgeht, müßte bei ungeschwächtem Lichte die Helligkeit im Schattenpunkt 0′

am größten sein, nämlich 177,7 % ⊙ oder 5,965 % aller Helligkeit. Es folgt von Punkt zu Punkt nach außen Abnahme bis 26′ auf 100 % ⊙ bezw. 3,37 %; von da an Gleichbleiben der Helligkeit bis an den äußersten Schattenrand 46′ und natürlich darüber hinaus. Die Lufthülle „sammelt“ infolge Refraktion die Sonnenstrahlen gegen die Schattenachse hin wie eine entsprechende, allerdings etwas schlechte Glaslinse.

Aus Tafel III, Spalte 3, entnimmt man noch, daß auf den bunten Kern von 0′ bis 32′ Radius 76,4 % = $^3/_4$ aller ursprünglichen Helligkeit entfallen würde.

b. In der Verteilung des geschwächten Lichtes (Spalte 6 u. 7) ist im Schattenmittelpunkt die größte Helligkeit nicht mehr vorhanden; die Zunahme derselben von innen nach außen ist aber in Axennähe geringer als gegen den Rand hin. Siehe Linienbild Abb. 9. (Wohlgemerkt, dies gilt einstweilen für die mit den Werten *i* berechneten Helligkeiten.) Statt 177,7 % ⊙ (Spalte 4) hat die Schattenmitte noch 0,014 % ⊙ (Sp. 6), der Randpunkt von 46′ aber statt 100 % ⊙ noch 21,058 % ⊙. An der Grenze zwischen Saum und Kern, im Punkt 32′, findet man die Zahlen 100 % ⊙ bezw. 2,620 % ⊙.

Nach dem bunten Kern, 0′—32′ Radius, geht 2270,1 % ⊙ (Sp. 5) bezw. 76,41 % (Sp. 3) aller Helligkeit, wird aber insgesamt auf 9,131 % ⊙ (Sp. 7) oder 0,307 % (Sp. 9) aller Helligkeit verdunkelt. Für den grauen Saum verbleiben 700 % ⊙ oder 23,59 % allen Lichtes, das im ganzen auf 72,932 % ⊙ oder auf 2,31 % allen Lichtes verdunkelt wird.

11. Ueber den grauen Saum und den bunten Kern im besonderen.

Die Tatsache der „Buntheit“ und der Zweiteilung des Erdschattens gab den Anstoß zur vorliegenden Arbeit. Ich suche herauszubringen, welche Luftschichten die Verfärbung des durchgehenden Lichtes, und welche überhaupt eine Verdunkelung desselben verursachen. Darum dieser besondere Abschnitt.

Tabelle I sagt, daß über die Luftschichten 0—4,0 km Licht in die Schattenpunkte 0′—32′ des bunten Kerns allein, über 4,4—14,6 km in Kern und Saum zugleich und über 16,0—40,0 km nur in den grauen Saum gelangt. Diese

letztern Luftschichten können also sicher nicht mehr verfärbend wirken, sonst müßte der graue Saum auch gelblich bis rötlich erscheinen. Allein auch schon tiefere Luftschichten vermögen schon keine buntfärbende Wirkung mehr auszuüben, wie gleich zu zeigen ist.

Nach (allerdings erst einmaligem) Augenschein ist die Färbung etwa von 0′—16′ (rund) Schatten ein deutliches Rot, bis rund 24′ ein Kreß, gegen den Saum hin bis 32′ ein Gelb und Hellgelb, in rund 34′ rasch in Grau übergehend. Wählt man einen Luft-km als Grenzschicht, addiert in den Spalten, Tabelle I, die Helligkeitszahlen für die Luft-km oberhalb und unterhalb derselben getrennt und betrachtet zunächst die obern Schichten als grau-, die untern als bunt-färbend, so erhält man die Tabelle Seite 216.

Zu *a*, 4,2 km. Die Helligkeit der „buntfärbenden" Schicht 0—4 km wäre = 0; die bloß graufärbende Luftschicht wäre längs des ganzen Schattenradius überwiegend, was der Tatsache widerspricht.

Zu *b*, 6,0 km. Die buntfärbende Schicht 0—6,0 km würde von 0′—14′ überwiegend, bei 16′ gleich der graufärbenden, von da an bis zum grauen Saum (32′) würde der Helligkeitsanteil des Lichtes über die „bunten" Schichten noch $^1/_2$ bis $^1/_{25}$ des grauen Lichtes betragen und endlich = 0 werden. Dieser Fall ist schon denkbar, aber so, daß durch 0—2 km Luft überhaupt kein Licht geht, über 2—4 km rot verfärbtes, über 4—6 km kreßfarbiges bis weißgelbes Licht. Durch das überwiegende unbunte, graue Licht im Kern werden die Farben heller und dadurch blasser. Im grauen Saum hätte man überhaupt kein buntes Licht mehr (34′—46′), was mit der Beobachtung ziemlich gut stimmt.

Zu *c*, 7,8 km. In den Schattenpunkten 0′—18′ hat man überhaupt nur buntes Licht, dessen Helligkeitsanteil von 18′ bis 24′ sein Maximum erreicht. Im Punkte 23′ etwa sind die Anteile gleichgroß und an der Grenze Kern-Saum, 32′, würde bereits das graue Licht das bunte an Helligkeit 12—15-fach übertreffen.

Mit dieser Grenze 7,8 km ist man der Wirklichkeit recht nahe gekommen. Vergleichen wir aber noch die folgenden.

Zu *d*, 10,7 km. Ein Helligkeitsmaximum des buntfarbigen Lichtes wäre bei den Punkten 28′—36′, also rund bei 32′,

d. h. an der Grenze zwischen Saum und Kern. Gleiche Helligkeit für beide Luftschichten ergibt sich in den Schattenpunkten 29′—30′, auch in der Nähe jener Grenze, während in den Punkten 0′—24′ gar kein graues Licht eintreffen würde.

Allein im Punkte 40′, nur 6′—7′ vom äußersten Schattenrand entfernt, wäre der bunte Anteil immer noch rund $^1/_{12}$ der Helligkeit des grauen Lichtes.

Zu *e*, 13,1 km. Gleiche Helligkeit bewirken die beiden Lichtarten zwischen den Punkten 32′ und 34′, also genau an

a. Für 4,2 km Grenzschicht:

Pkt.	46′	44′	42′	40′	38′	36′	34′	32′	30′	28′	26′	24′	22′	20′	18′	16′	14′	12′	10′	8′
Total	21,6	15,9	11,9	8,9	6,6	4,9	3,6	2,6	1,9	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0 %
km 40/4,4	21,6	15,9	11,9	8,9	6,6	4,9	3,6	2,6	1,9	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0
4,0/0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

b. Für 6,0 km Grenzschicht:

km 40/6,4	21,6	15,9	11,9	8,9	6,6	4,9	3,6	2,5	1,8	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0 %
5,9/0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0

rd. buntes Maximum

c. Für 7,8 km Grenzschicht:

km 40/8,2	21,6	15,8	11,8	8,8	6,5	4,7	3,4	2,4	1,7	1,1	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0	0	0	0	0	0 %
7,5/0	0,0	0.1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0 %

Buntes Maximum

d. Für 10,7 km Grenzschicht:

km 40/11,2	21,1	15,2	11,2	8,2	5,8	4,0	2,7	1,7	1,0	0,4	0,1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0 %
10,3/0	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0 %

Buntes Maximum

e. Für 13,1 km Grenzschicht:

km 40/13,9	20,2	14,3	10,3	7,3	4,9	3,2	1,9	0,9	0,3	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 %
12,2/0	1,4	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0.3	0,2	0,1	0,1	0,1	0 %

Buntes Maximum

der Grenze zwischen Saum und Kern. Aber das Maximum des bunten Lichtes liegt bereits etwas innerhalb, bei Punkt 36′ rund, des grauen Saumes, und selbst 2′ vom Randpunkte entfernt, bei 44′, beträgt die Helligkeit des bunten Lichtes noch $^1/_9$ jenes des grauen.

Mit der Grenze 7,8 km zwischen bunt- und graufärbenden Luftschichten hat man unzweifelhaft das Richtige getroffen. Auf dieselbe Grenze sind wir schon in Abschnitt 7 *b*, *d*, *e* und *f* gekommen. Nach Abschnitt 8 *b* ist der ganze beobachtete dunkle Schatten der Halbschatten der Erde + 7,8 km Luft. Wenn noch die Tatsache hinzukommt, daß durch die Luftschicht 0—7,8 km Dreiviertel allen Lichtes geht, das wir aus den Sonnenteilen nach allen ausgewählten Schattenpunkten überhaupt ausstrahlen ließen, diese Luftschicht aber trotzdem noch den dunklen Halbschatten mit markanter Grenze bedingt, so muß diese Luftschicht sich physikalisch von höhern Schichten durch etwas unterscheiden, das in den nächsthöhern Schichten rasch fehlt. Da ist festgestellt, daß durchschnittlich nur innerhalb dieser Luftschicht von 0—8 km Höhe die Cumulus- und ähnliche dichtere Nebelwolken sich bilden, während bis rund 13 km Höhe die weniger dichten Eisnadelwolken, die Cirri, noch vorkommen. Ich denke allerdings nicht an einen merklichen Einfluß der Wolkengebilde selbst. Wir stellen damit folgendes Hauptergebnis fest:

Der Erdschatten ist der Halbschatten der Erdkugel mit der Sphäre der dichten Wolken bis zu rund 8 km Höhe.

Unter Vorbehalt bezüglich der verwendeten Transmissionskoeffizienten kann man beifügen:

Lichtstrahlen, welche auch durch die untersten 2 Luft-km streichen, werden ganz absorbiert; Strahlen, welche der Erde auf 2 bis 4,2 km streifend nahe kommen, gelangen deutlich rot verfärbt in den Erdschattenraum.

Jene Sonnenstrahlen, welche die Wolkensphäre von rund 8 km Höhe ganz durchlaufen, erleiden noch merkliche Einbuße an Helligkeit und eine Verfärbung zu Kreß (Orange oder Kapuzinerkresse) oder Gelb.

Vorgreifend fügen wir noch hinzu:

Spurenweise verdunkelnd, kaum noch gelblich färbend, mögen die übrigen Schichten der Troposphäre (Wetterschicht)

bis rund 13 km Höhe noch einwirken, während die höhern Luftschichten auf das durchgehende Licht überhaupt keinen im Erdschatten nachweisbaren Einfluß haben.

Zur letztern Vermutung kommt man durch die Ueberlegung, daß vielleicht das Verhältnis der Helligkeit alles grauen zu jener alles bunten Lichtes, im grauen Saum umgekehrt wie im bunten Kern sei. Addiert man die entsprechenden Helligkeiten getrennt, so erhält man Tabelle V und daraus in den Spalten 9 und 10, für km 12,2 die fettgedruckten Zahlen, die sich fast zu 100 % ergänzen. (Noch genauer trifft das für 12,1 km zu.) Für die Mitte aus 12,2 und 13,9 km, also für 13,1 km, geht daraus folgendes hervor (siehe auch Spalten 6 und 7):

Grauer Saum:

Gesamthelligkeit	= 72,933 % ⊙	= 100	% des Saumes
Unbuntes Licht über 40,0—13,9 km	= 61,430 % ⊙	= 84,2 %	- -
Buntes Licht über 12,2—0,0 km	= 11,503 % ⊙	= 15,8 %	des Saumes

Bunter Kern:

Gesamthelligkeit	= 9,120 % ⊙	= 100	% des Kerns
Unbuntes Licht über 40,0—13,9 km	= 1,264 % ⊙	= 13,8 %	- -
Buntes Licht über 12,2—0,0 km	= 7,856 % ⊙	= 86,2 %	- -

Helligkeitsverhältnisse:

Für 13,1 km-Grenze:

$$\text{Grauer Saum:} \quad \frac{\text{Graues Licht}}{\text{Buntes Licht}} = \frac{84{,}2}{15{,}8}$$

$$\text{Bunter Kern:} \quad \frac{\text{Graues Licht}}{\text{Buntes Licht}} = \frac{13{,}8}{86{,}2}$$

Zum Vergleich: Für 7,8 km-Grenze:

$$\text{Grauer Saum:} \quad \frac{\text{Graues Licht}}{\text{Buntes Licht}} = \frac{98{,}6}{1{,}4}$$

$$\text{Bunter Kern:} \quad \frac{\text{Graues Licht}}{\text{Buntes Licht}} = \frac{28{,}0}{72{,}0}$$

Entscheidender ist die Grenze 7,8 km, wie sie sich aus Fall *c* ergibt, und wahrscheinlicher, daß ein Ueberschuß von grauem Licht im bunten Kern weniger auffällt als ein solcher bunten Lichtes im grauen Saum. Danach ist die letzte Verhältnisgruppe wohl möglich: Im grauen Saum überwiegend graues Licht (98,6 : 1,4); im bunten Kern immerhin noch 72 % buntes Licht, welches durch die 28 % grauen Lichtes etwas aufgehellt, blaßfarbiger wird. Jenes Licht, das über 7,8 bis 13,1 km als unbunt mehr hinzukommt, gelangt ja nur in die Schattenpunkte 18′—32′ des bunten Kerns, wo besonders von 24′ an die gelbliche Farbe vorherrscht, während das Maximum bunten Lichtes rund bei Punkt 24′ liegt (Tabelle Seite 216).

Zu der Behauptung, daß der Erdschatten am natürlichsten als Halbschatten der Erde + 7,8 km Lufthülle aufgefaßt wird, kann man zwar einwenden, daß Kern und Halbschatten für jede Luftschicht vielleicht eher unmerklich in einander übergehen werden, wie auch die entsprechenden Schatten verschiedener Luftschichten in einander „verschwimmen“ mögen. Allein der wirkliche, beobachtete Schatten müßte dann, wie man erwartet, viel langsamer, wohl eben unvermerkt ins volle Licht übergehen, etwa so, wie es die Kurve Abb. 9 zeigt. Tatsächlich ist das durchaus nicht so, wenigstens empfinden die Augen den Uebergang als schroffer, eine deutliche Grenze bildend, für welche der in Abschnitt 12 folgende Versuch einer Erklärung nicht ausreicht. Dann bleibt aber nur der Ausweg, in irgend einer Beschaffenheit der Atmosphäre in beiläufig 8 km Höhe eine Unstetigkeit anzunehmen, wie sie die Wolkenbildung tatsächlich für die berechnete Höhe aufzeigt.

12. Vergleich des Helligkeitsverlaufes in einem Schattenradius.

Nach Rechnung und Beobachtung.

a. In jedem Punkt eines Radius des Schattenquerschnittes beträgt die Helligkeit des ankommenden Lichtes nach der Berechnung mit den gewählten Transformationskoeffizienten *i* soviel, wie die Summe einer Spalte in Tabelle I unten angibt. In Abb. 9 sind diese Werte als Linie dargestellt. Für sich

selber sagen uns diese Zahlen nichts, wohl aber im Vergleich unter sich. Man denke sich zunächst die obere Kurve, links, weg. Die andere zeigt dann, wie die Helligkeit im Schattenmittelpunkt (0′) am geringsten ist und langsam, dann rascher zunimmt bis zum Schattenrand mit Radius 46′ bezw. 38′ (rechts).

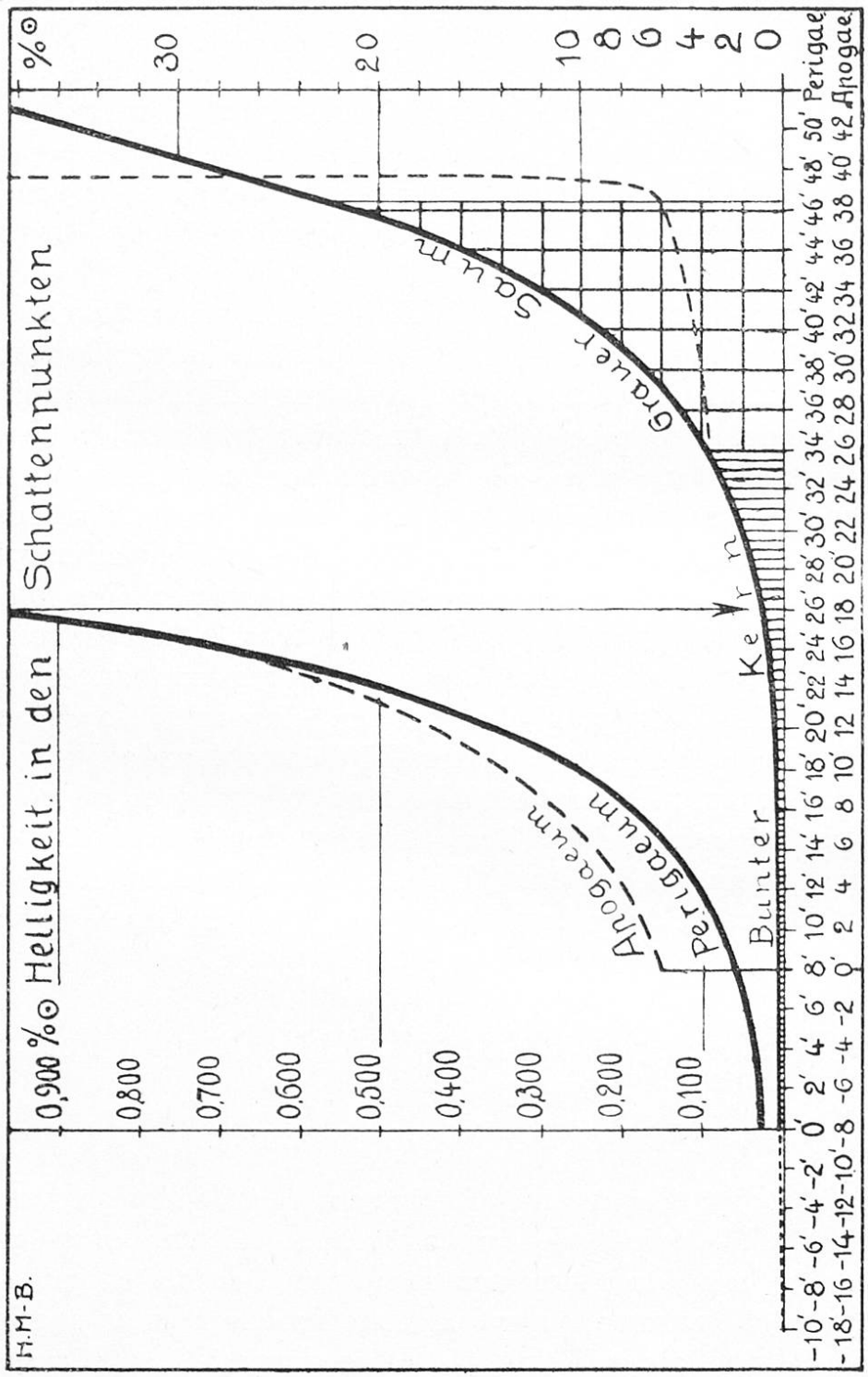


Abb. 9. Kurve der Helligkeit in den Schattenpunkten (nach Rechnung). Links ein Stück stark vergrößert.

Im beobachteten Schatten nimmt die Helligkeit vom Mittelpunkt an ebenso zu gegen außen; aber im grauen Saum empfindet das Auge überall fast gleichmäßige Helligkeit bis an den Rand und dort, wie mehrfach gesagt, ziemlich raschen Uebergang in fast volles Licht.

Bis dahin war ich auf meine Erinnerung an eine einzige gut beobachtete Finsternis vom 2./3. Mai 1920 angewiesen. Als ich diesen Abschnitt niederschrieb (im Prättigau, Höhe 1375 m ü. M.), stieg, am 20. Februar 1924, über dem Rhätikon der kaum noch halb verfinsterte Mond am klaren Himmel auf. Er war nur noch in den grauen Saum eingetaucht und dieser schien mir auffallend dunkel gegen meine frühere Beobachtung im Tal. Ob die unreinere Talluft im Mai allein jene geringere Dunkelheit vortäuschte, weiß ich nicht. Begreiflicherweise suchte ich nun scharf nach einer Aufhellung des Schattens von innen nach der Grenze hin, konnte aber keine solche, sondern fast genaue Gleichmäßigkeit feststellen mit ziemlich scharfer Grenze. Die Annahme, daß die Kontrastwirkung des vollen Mondlichtes die Helligkeitszunahme im Schatten dem Auge entziehe, war leicht dadurch als unrichtig nachzuweisen, daß man im Zeissfeldstecher die helle Mondfläche mit dem schwarzen Rand der Blende verdeckte. Eine Skizze vom 2./3. Mai 1920 sowie meine Erinnerung von dorther und vom 2./3. März 1923 war damit einwandfrei bestätigt.

Der Widerspruch zwischen Beobachtung und Rechnung (starkes Ansteigen der Kurve) scheint beträchtlich zu sein; man darf allerdings die Helligkeiten, wie sie durch Zahlen gegeben sind, mit dem Empfinden der Augen nicht unmittelbar vergleichen, wie weiterhin zu zeigen ist. Doch vorher zu Abb. 9 noch folgendes: Die erste Kurve links stellt das 40 mal vergrößerte erste Stück der darunter liegenden Kurve dar. Die Helligkeit für die Mittelpunkte 0′ für Peri- und Apogäum ist anders berechnet als für die übrigen Punkte. Sie erhalten nämlich Licht von Strahlen, welche ringsum die Erdkugel streifen. Deshalb wurde die Sonnenscheibe in konzentrische Ringe von je 2′ Breite geteilt (statt vorher in ebenso breite Streifen) und deren Fläche im Verhältnis der ganzen Sonnenscheibenfläche als Helligkeit gesetzt. Man erkennt, daß die Helligkeit in der Schattenmitte im Apogäum (0,15) etwa 5,4 mal größer ist als im Perigäum (0,028).

b. Um einen Vergleich anzustellen zwischen den berechneten Helligkeiten in Zahlen und der Empfindung des Grau im Schatten durch die Augen, machen wir folgende Ueberlegung: Die ungeschwächte Helligkeit der Sonnenscheibe bei deren kleinem Zenitabstand empfinden wir als unerträglich stark blendend. Die Mondoberfläche spiegelt davon nur einen sehr kleinen Teil zurück (etwa $^1/_{600\,000}$) und diese verminderte Helligkeit wird nochmals durch die Atmosphäre abgeschwächt. Das Vollmondlicht empfinden die Augen dann als Silberweiß, kaum mehr als blendend. Unsere Rechnung und Kurve in Abb. 9, müßte also für einen Punkt im Abstand 48′ von der Schattenmitte, der bereits außerhalb des Schattens liegt, 100 % ⊙ = Weiß ergeben. Man kann sich Tabelle I nach links, die Kurve in Abb. 9 entsprechend nach rechts fortgesetzt denken und erhält für einen Punkt mit Radius 48′ die Zahl 27,85 % ⊙, 50 % ⊙ für Punkt 54′ und 100 % ⊙ erst für Punkt 78′. Der Widerspruch: Rechnung gegen Tatsache ist wirklich vorhanden. In einer „Grauleiter“ (Abb. 10; nach W. Ostwalds Farbenlehre[1]), d. h. in einer Reihe von verschieden dunkeln, grauen oder unbunten Farbtönen, welche von Schwarz zu Weiß so abgestuft sind, daß das Auge von Stufe zu Stufe immer gleich starke Zunahme (arithmetische Reihe) der Helligkeit schätzt, gilt das Gesetz, daß die Helligkeit, d. h. der Weißgehalt, in Wirklichkeit in jeder folgenden Stufe dasselbe Vielfache (geometrische Reihe) beträgt wie in der vorangehenden. Nur für den dunkelsten Teil der Grauleiter soll das Gesetz nicht ganz streng gelten.

Nach einer Original-Grauleiter in W. Ostwalds Farbenfibel habe ich eine solche in Punktmanier wiederzugeben versucht (Abb. 10). Im Buchdruck wird sie kaum ganz gut ausfallen. Für das Druckpapier ist ein „Weiß“ gesetzt mit nur rund 90 % Weißgehalt, für das „Schwarz“ die Buchdruckerschwärze im Druck mit noch 5,0 % Weißgehalt. Der Weißgehalt jedes folgenden Tones ist rund 1,5 mal größer als jener des vorhergehenden. Die Flächen oder Stufen liegen auch örtlich gleichweit auseinander. Dasselbe gilt ja entsprechend für unsere angenommenen Schattenpunkte in einem Radius, deren schein-

[1] Wilhelm Ostwald, Die Farbenfibel. Leipzig, Verlag Unesma G. m. b. H.

barer Abstand = 2′ angenommen wurde. Betrachten wir die berechneten Helligkeitszahlen der Schattenpunkte als deren Weißgehalt, so kann man durch folgende Tabelle herausbringen, wie sich diese Zahlenreihe als Reihe grauer Flecken dem Auge darstellen würde.

		Grauer Saum							Bunter Kern					
Schattenpunkte	48′	46′	44′	42′	40′	38′	36′	34′	32′	30′	28′	26′	24′	22′
Helligkeit % ⊙	27,9	21,1	15,9	11,9	8,9	6,6	4,9	3,6	2,6	1,9	1,3	0,9	0,7	0,5
Logarithmus + 10 =	11,445	11,323	11,201	11,077	10,954	10,822	10,690	10,557	10,418	10,273	10,118	9,974	9,832	9,688
Differenzen		0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14

Die Differenzen der Logarithmen sind einander fast gleich. Als Grauleiter dargestellt, hätte die Reihe Stufen von fast gleichmäßig zunehmender Helligkeit, von innen (rechts der Tabelle) nach außen. Immerhin wachsen im bunten Kern die Differenzen bis zu dessen Grenze bei 32′ etwas an, d. h. die Helligkeit nimmt rascher zu, und von dort an, innerhalb des grauen Saumes, wieder langsamer bis zur Schattengrenze 46′. Dieses langsamere Hellwerden oder das Dunklerbleiben gegen die Grenze hin entspricht einigermaßen dem, was das Auge wirklich wahrnimmt. Aber an der Grenze, von Punkt 46′ zu 48′ oder 50′, sollte ein Sprung stattfinden; die Zunahme an Helligkeit, die Differenzen der Logarithmen, sollte sehr rasch wachsen, was in der Rechnung durchaus nicht der Fall ist.

Die Helligkeitszahl für den äußersten Schattenpunkt, zirka 46′,5, ist rund 22,8. Zufällig entspricht ihr fast die Zahl 26,1 der Grauleiter, Abb. 10, d. h. jenes Grau, welches etwas über der Mitte zwischen Schwarz und Weiß liegt, und das schätzungsweise auch ziemlich gut mit der fast gleichmäßigen Helligkeit des am 20. Februar 1924 beobachteten Schattens im grauen Saum, bis an die Grenze, übereinstimmt. Auf der Mondscheibe folgte dann aber fast unmittelbar (Uebergang höchstens 1′ bis $1^1/_2$′) ein Grauweiß von vielleicht 90 % Weißgehalt. Denkt man sich über dem Grau 26,1 % die Leiter (Abb. 10) abgebrochen, vielleicht auch erst zwischen 26,1 und 39,4 %, so hat man eine Vorstellung von der Schärfe des Ueberganges des Halbschattens der Erde + rund 8 km Luft zum scheinbar

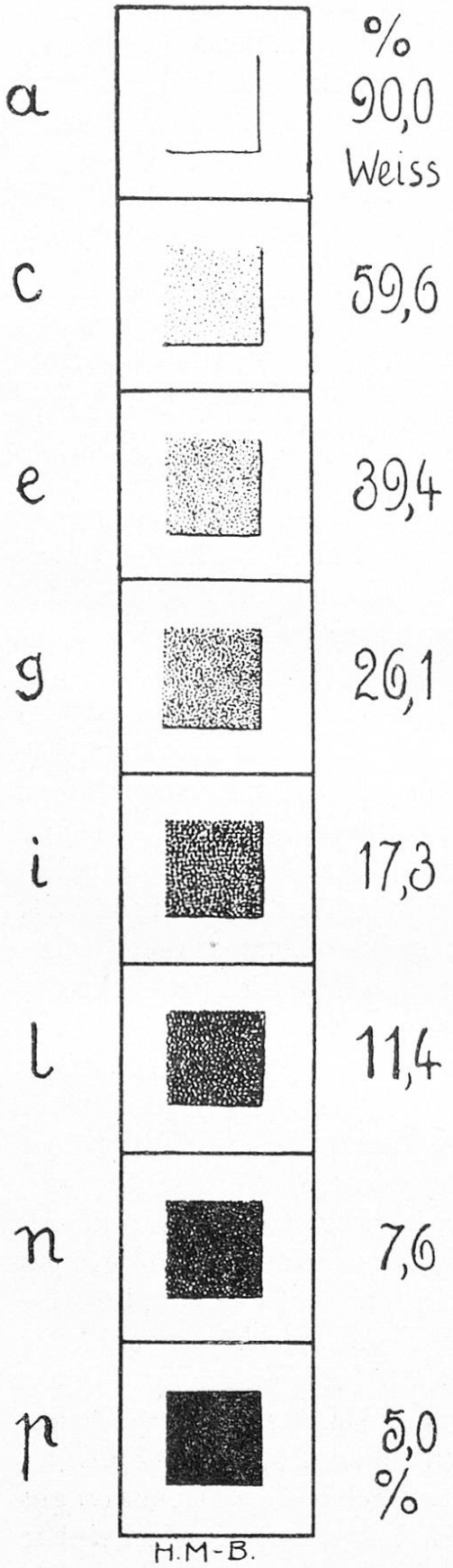


Abb. 10. Grauleiter, d. h. Flächenreihe a—p, deren Helligkeit bezw. Weißgehalt dem Augenschein nach ungefähr gleichmäßig, in Wirklichkeit aber den beigesetzten %-Zahlen nach abnimmt (nach Ostwald).

vollen Licht des Mondes, während, wie die Differenzen oben (S. 223) zeigten, die Rechnung eine Grauleiter gibt, welche der abgebildeten (Abb. 10) gleicht, also erst weit außerhalb des Halbschattens in volles Licht auslaufen würde, entgegen der Tatsache.

Alle meine drei Beobachtungen fanden bei Mond in Nähe des Perigäums statt. Am 20. Mai 1920 war der innerste Mondrand der Schattenmitte bis auf rund 3′ nahegekommen; das rote Grau hatte dort vielleicht die Helligkeit des Feldes 17,3 % der Grauleiter (Abb. 10) oder kaum 11,4 %, der graue Saum vielleicht 50 % Weißgehalt. Die physiologischen Helligkeiten längs eines Radius des Schattenquerschnittes stellen damit einen nur kleinen Auschnitt der vollständigen Grauleiter dar.

c. Die Tatsache, daß der dunkle Halbschatten der Erde mitsamt rund 8 km Luftschicht im grauen Saum sich nicht weiter aufhellt und dann an der Grenze sehr rasch beinahe volle Helligkeit

erlangt, während die berechneten Helligkeiten überall stetig und langsam zunehmen und auch an der Grenze keinen Sprung aufzeigen, läßt sich nur dadurch erklären, daß die Transmissionskoeffizienten i, welche der Rechnung zu Grunde liegen, für die untern 8 km Luftschichten zu rasch zunehmen.

Ergebnis: Die ersten 8 km Luft sind ziemlich undurchlässig für Lichtstrahlen, die folgenden rasch durchlässiger.

Diese mittlere Höhe von rund 8 km wird am Aequator größer, über den Polargegenden kleiner sein; denn die Erwärmung des Erdbodens bedingt aufwärtsgehende Luftströmungen, welche Staubteile bis zu solchen Höhen mitreißen können. Diese vermindern die Durchsichtigkeit der Luft, haben aber auf die Refraktion kaum Einfluß.

d. Das Ergebnis, daß die Transmissionskoeffizienten in Wahrheit etwas anderen Verlauf nehmen als die in Rechnung gestellten, würde nachträglich eine kleine Abänderung jener Schlüsse bedingen, welche bisher aus den Helligkeitszahlen abgeleitet wurden.

Vielleicht vermögen auch noch Strahlen, welche die Erde in etwas größerem Abstand als rund 2 km streifen, nicht mehr die ganze Atmosphärenhülle zu durchdringen. Auch reichen die bunt verfärbenden Luftschichten wohl noch etwas weniges höher hinauf als bis 7,5 km. Wesentlich anderes als eine Verschärfung der Schattengrenze und ein Gleichbleiben der nur etwas geringeren Helligkeit im grauen Saum bewirkt diese vermehrte Undurchlässigkeit der Wolkensphäre aber nicht.

13. Der Halbschatten der Troposphäre.

Die „Wetterschicht“ reicht in mittlern Breiten bis zu rund 13 km Höhe. Auf Seite 217 f., Abschnitt 11, wurde gezeigt, daß diese Schicht noch einen schwachen, vielleicht spürbaren Einfluß auf durchgehendes Licht haben könnte. Die Mondfinsternis vom 20. Februar 1924 hat dies sehr schön bestätigt. Aus den Zeitnotierungen und aus Skizzen stellte ich mit Hilfe der astronomischen Elemente den Verlauf der Finsternis graphisch dar. Ich beobachtete außerhalb des dunklen, vielleicht etwas bräunlichgrauen Schattens, der nur dem grauen Saum angehörte, einen zarten, langsam nach außen verlaufenden

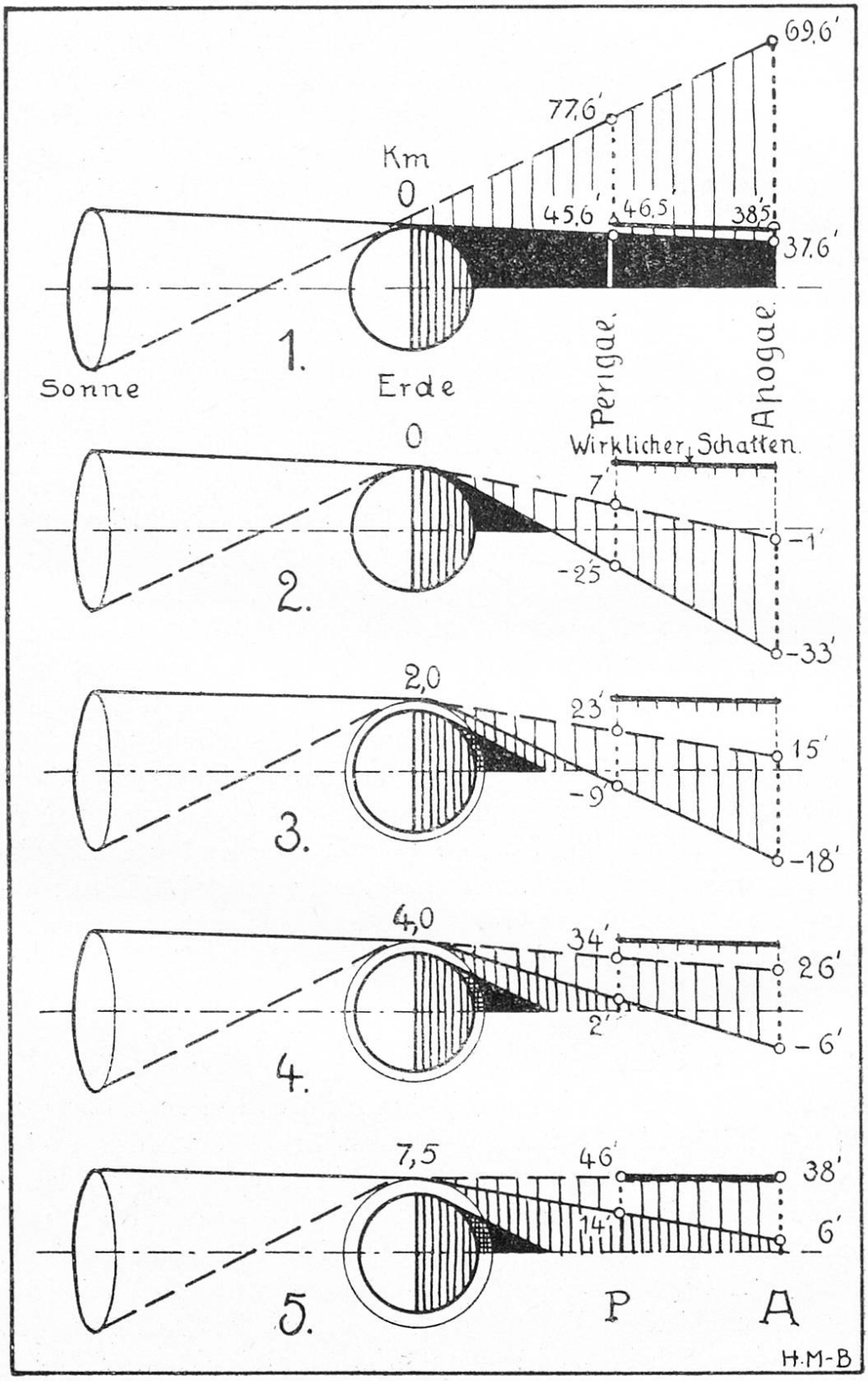
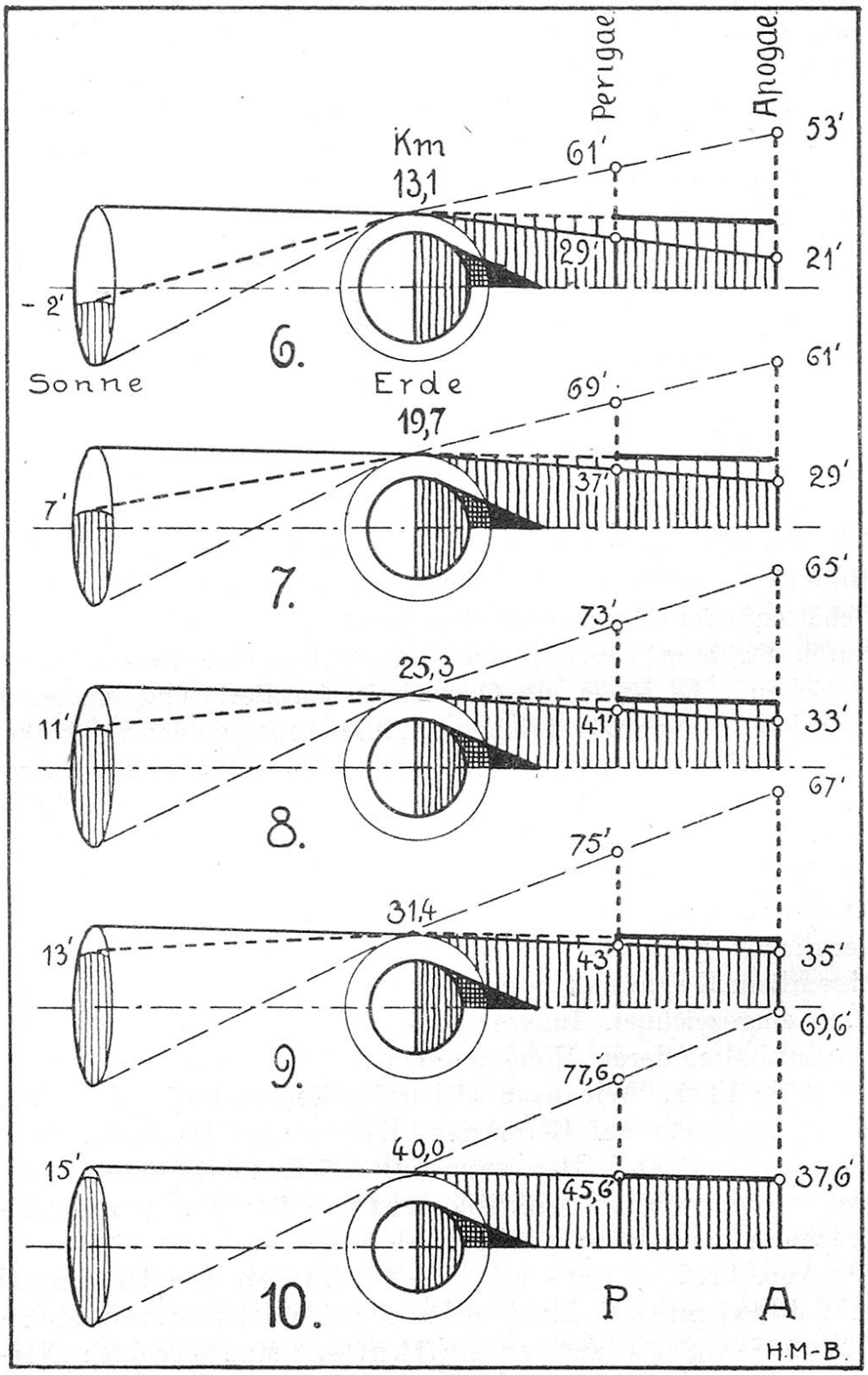


Abb. 11. Die halben Schatten der Erdkugel,



teils ohne, teils mit Wirkung der Lufthülle.

Schattenschleier. Dessen Breite hatte ich nach dem Monddurchmesser auf rund 13′ geschätzt; die Zeichnung ergab, nach den Zeitangaben, genau so viel. Zu dem Halbschatten der Wolkenschicht (7,8 km) von diesmal rund 43′ Radius kamen somit noch 13′ hinzu. Der Radius von rund 56′ entsprach aber bei dieser Finsternis eben dem Halbschatten der Troposphäre von rund 13 km Höhe.

Da diese Schicht sich gegen höhere eben als Wettersphäre wirklich abgrenzt, liegt es nahe, auch einen etwas abgegrenzten Halbschatten derselben zu vermuten. Die Beobachtung vom 20. Februar 1924 hat auch das bestätigt.

14. Zusammenstellung der Ergebnisse.

An Hand der schematischen Figuren auf Abb. 11 gebe ich eine Uebersicht über die behandelten Fragen. In allen Bildern ist stets nur der Längsschnitt durch jene Hälfte der Schattenkegel (Kern- und Halbschatten) gezeichnet, welche durch Strahlen begrenzt sind, die „über“ die Erde hinwegstreichen. Es ist je ein Querschnitt im Peri- und Apogäum angedeutet. Die angeschriebenen Zahlen bedeuten den Sehwinkel oder scheinbaren Radius der Querschnittsscheibe. Ein kurzer dicker Strich von Peri- zu Apogäum zeigt überall die Größe des wirklichen Schattens an, dessen Radien 46,5′ bezw. 38,5′ nur in Bild 1 angegeben sind. An diesem „wirklichen Schatten“ (in Bild 2 angeschrieben) kann der jeweils behandelte Schatten verglichen werden. In allen Bildern ist mit Vollschwarz der eigentliche Kernschatten der Erdkugel, natürlich auch schematisch eingezeichnet. Innerer Kreis = Erdkugel, äußerer Kreis = Lufthülle, deren Höhe unter Km eine Zahl angibt.

Abb. 11, 1. Wie nach bisheriger Berechnungsweise, d. h. ohne Rücksicht auf Refraktion, Kern- und Halbschatten aussehen müßten. Der vermeintliche Kernschatten wäre fast so groß wie der wirkliche Schatten, ist aber wegen Luftbrechung als solcher unmöglich.

Abb. 11, 2. Kern- und Halbschatten der Erdkugel mit Rücksicht auf Lichtbrechung bei vollkommen lichtdurchlässig gedachter Lufthülle. Man beachte: Niemals darf der wirkliche Schatten als Kernschatten der Erdkugel angesehen werden. Der Kernschatten erreicht den Mond

nie; auch der Halbschatten konvergiert gegen den Mond hin; seine Spitze reicht nicht bis zum Apogäum. Der Mond bliebe dort stets unverfinstert. Wie müßig ist die Frage: „Warum ist der Radius des „Kernschattens“ der Erde etwas ($^1/_{50}$) größer als der (nach Bild 1) beobachtete?“ Dieser Kernschatten hat in Wirklichkeit z. B. im Perigäum — 25′ Radius, ist also nicht um $^1/_{50}$ größer als der berechnete, sondern um 71′ kleiner als der beobachtete dunkle Schatten.

Es ist reiner Zufall (wenn man so sagen darf), daß ein ohne Rücksicht auf die Atmosphärenwirkung berechneter Schattenradius beinahe jenem des beobachteten wirklichen Schattens gleichkommt.

Abb. 11, 3. Erdkugel mit rund 2 km Luftschicht. Lichtstrahlen, welche die Erde so nahe streifen, daß sie auch diese Lufthülle durchdringen würden, werden ganz zerstreut und damit rund 30 % allen Lichtes vernichtet, das von der Sonne nach dem Schatten hingeht. Weder Kern- noch Halbschatten dieser Luftschicht (mit Erdkugel) füllen den wirklichen Schatten aus. Die Spitze des noch lichtlosen Kernschattens (eng schraffierte Fläche) reicht nicht bis zum Mond. Dieser ist tatsächlich selbst bei einer Verfinsterung im Perigäum äußerst selten ganz dunkel.

Abb. 11, 4. Erdkugel mit 4 km Lufthülle. Die Hälfte allen Lichtes, welches überhaupt in den Erdschatten gelangt, muß auch diese untersten 4 km Luft durchstreichen. Es wird dabei noch stark verdunkelt und allermeist innerhalb dieser Schicht auch nach Rot verfärbt; denn ihr Halbschatten entspricht eben dem bunten Kern (mit 34′ bezw. 26′ Radius) des wirklichen Schattens.

Abb. 11, 5. Erdkugel mit 7,5 km Lufthülle. Deren Halbschatten mit rund 46′ bezw. 38′ Radius entspricht dem wirklichen, scharf begrenzten dunkeln Schatten. Von dieser Luftschichtgrenze an muß die Lichtdurchlässigkeit der Atmosphäre gegen außen (oben) sehr rasch zunehmen; denn ein bisweilen noch zu bemerkender äußerer, zarter Schleierschatten ist schon sehr hell. Sonnenstrahlen, welche diese Wolkensphäre durchstreichen, werden eben noch merklich verfärbt. Je nach schwankender Refraktion wechselt natürlich auch der Radius des Schattens dieser Schicht. Aber auch die nötige Verbesserung $^1/_{50}$ für den nach alter Weise

berechneten Radius ist nur ein Mittelwert, der größere Veränderungen erfährt.

Weil die mittels der Transmissionskoeffizienten berechnete Helligkeitskurve (für einen Schattenradius) die tatsächliche Helligkeitszunahme am Schattenrande nicht anzeigt, stimmen diese Koeffizienten für jene Uebergangsschicht in rund 7,5 bis 8 km nicht befriedigend. Vielleicht gelingt es einmal. aus Mondfinsternissen die *i*-Werte besser zu errechnen.

* * *

Gemeinsam ist allen Bildern Abb. 11, 1—5, daß über Luft bis rund 7,5 km Höhe noch Licht aus allen Sonnenteilen in den wirklichen Schatten hineingelenkt wird. Das gilt also für rund $^3/_4$ allen Lichtes überhaupt, welches nach dem wirklichen Schatten hingeht.

Von 7,5 km an gelangt das Licht aus den „untern" Sonnenteilen, welches nur durch höhere Luftschichten geht, in den Raum außerhalb des dunklen Schattens. Dieses heller bleibende Licht bleibt von der Aufhellung des Halbschattens der 7,5 km = Luftschicht (+ Erde) ausgeschaltet, was durch Schraffierung jener Sonnenteile in den folgenden Bildern, Abb. 11, 6—10, angedeutet wurde. Stets ist auch gezeichnet und durch Zahlen angegeben der scheinbare Radius für den Kernschatten der Luftschichten. In Wirklichkeit verlaufen wohl Kern- und Halbschatten in einer Schicht, sowie alle Schatten überhaupt, stark ineinander, bis eben zur Wolkenschicht.

Abb. 11, 6. Erdkugel mit 13,1 km Lufthülle. Rund 13 km ist die mittlere Höhe der Wetterschicht oder Troposphäre, jener Luftschicht, welche zufolge Temperaturänderungen durch Strömungen, auch in vertikaler Richtung, der Durchmischung unterworfen ist. Bis zu ihrer obersten Grenze bilden sich noch die Cirruswolken; darüber hört die Bildung von Wolken im allgemeinen auf. Von 8—13 km muß die Luft schon rasch fast ganz „durchsichtig" sein, da nur noch ein zarter Halbschattenschleier davon zu beobachten ist. Nach unserer Rechnung (Tabelle I) müßte derselbe einen Radius von rund 55′ haben. Es ist bemerkenswert, daß ich, ganz unerwartet, am 20. Februar 1924 am verfinsterten Mond außerhalb des dunklen Halbschattens der Cumulusschicht von

rund 43′ Radius noch jenen zarten, sehr hellgrauen Schatten erst schätzungsweise nach Maß und dann noch der Dauer seines Verschwindens nach in einer Breite von rund 13′ wahrnehmen konnte, die fast ganz genau dem Unterschied der Radien der Halbschatten von 7,8 und 13,1 km entspricht (Unterschied der doppelten Refraktion).

Durch diese beiden Schatten ist deutlich die Troposphäre als letzte, merklich Licht absorbierende Luftschicht gekennzeichnet und nachgewiesen. Es müssen die mancherlei Beimengungen von kleinen Teilchen sein, welche nur innerhalb der beständig durchwogten und sich durchströmenden Luftschicht schwebend erhalten werden.

Abb. 11, 7—10. Diese Bilder zeigen lediglich, wie die äußersten möglichen, nämlich die Halbschatten noch höherer Luftschichten, immer mehr über den wirklichen Erdschatten hinauswachsen müßten, wovon aber keine Spuren vorhanden sind. Gleichzeitig würden die Radien der Kernschatten solcher Schichten erst jetzt dem gesehenen dunklen Halbschatten immer näher kommen, von so hohen Luftschichten also, welche unmöglich einen solch dunklen Schatten haben können.

Abb. 11, 10. Grenzfall: Der Kernschatten der 40 km Lufthülle würde mit rund 46′ Radius dem wirklichen dunklen Schatten entsprechen. Tatsächlich ist ja ein solcher Kernschatten, mag er noch so „hell“ sein, darin auch enthalten. Allein nur aus dem äußersten Sonnenrande ist es diesen Lichtstrahlen möglich, noch in die Nähe des so dunklen Schattenrandes zu gelangen, weshalb sie diesen Schatten nicht stark aufzuhellen vermögen. Daß der bis an seinen Rand dunkle Erdschatten dadurch entstehe, daß noch in 40 bis 100 km Höhe über der Erde wegstreichende Lichtstrahlen fast ganz ihres Lichtes „beraubt“ würden durch jene hohen, äußerst verdünnten Luftschichten; glaubt wohl im Ernste niemand.

* * *

Die Zweiteilung des dunklen Erdschattens in bunten Kern und grauen Saum wird verursacht durch die „verunreinigte“ Wolkensphäre von 0—7,8 km Höhe, welche hauptsächlich verfärbend auf das durchgehende Licht wirkt.

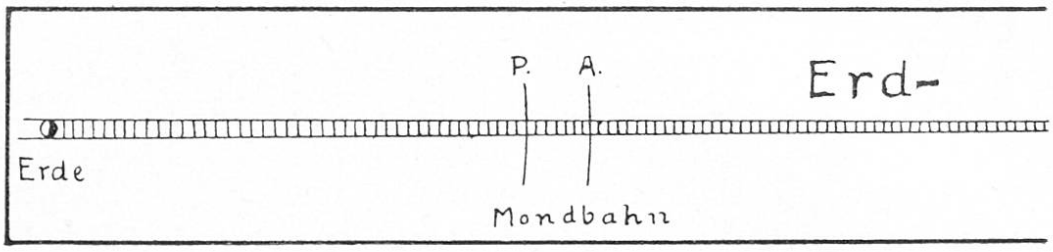


Abb. 12. Erdschatten in wirklichem Verhältnis

Die nach Rechnung unerwartete Schärfe und Dunkelheit des Schattenrandes ist wirklich vorhanden und nicht nur durch Kontrastwirkung vorgetäuscht. Der Grund dafür ist mit größter Wahrscheinlichkeit die eben erwähnte Trübung oder Verunreinigung der Wolkensphäre durch Ruß-, Staub-, Dampfteilchen usw. Die Transmissionskoeffizienten wurden durch Beobachtungen an der Erdoberfläche bestimmt, also „am Ende" der Lichtstrahlen. Dabei weiß man aber noch nicht bestimmt, in welchen Höhen, innerhalb welcher Luftschichten die stärkste Absorption auftrat. Man hat letztere gewissermaßen entsprechend der Dichtigkeit den Luftschichten „zugeteilt" und daraus die Koeffizienten für die Strahlen berechnet, welche nicht zur Erdoberfläche gelangen, sondern diese in verschiedenen Höhen überstreichen.

* * *

In Abb. 12 gebe ich zum Schlusse eine Darstellung des Erdschattens in wirklichen Verhältnissen.

Der Halbschattenradius, nach welchem mit genügender Genauigkeit Ein- und Austrittszeiten bei Mondfinsternissen bestimmt werden können, findet sich leicht nach der Formel:

$$R_H = \pi_\odot + \pi_☾ + r_\odot - 2\,\rho,$$

wobei für mittleren Luftzustand $2\,\rho =$ rund 31,0′ als für eine Luftschichtgrenze in rund 7,5 km Höhe zu setzen ist.

Beispiel: alte Rechnung:

$$R_K = \pi_\odot + \pi_☾ - r_\odot + {}^1/_{50}\,R_K;$$

für 24. August 1924:

$$R_K = 0{,}14' + 59{,}08' - 15{,}8' + 0{,}87 = 44{,}3';$$

neue Rechnung:

$$R_H = 0{,}14' + 59{,}08' + 15{,}8' - 31' = 44'.$$

schatten

H.M-B.

zur Erdkugel und Mondbahn.

Weil die Sonnenparallaxe stets fast $9'' = 0{,}14'$ und der Sonnenradius wenig von $16{,}0'$ verschieden wird, kann man zur zeichnerischen Darstellung des Verlaufes einer Mondfinsternis[1] bequem den Schattenradius berechnen nach Formel:

$$R_H = \pi_{☾} - 15'$$

wonach für verschiedene Mondparallaxen ($\pi_{☾}$) folgende Tabelle die Schattenradien gibt:

Mondparallaxe (Aequatorial-Horizontale)	52′	53′	54′	55′	56′	57′	58′	59′	60′	61′	62′
Schattenradius .	37′	38′	39′	40′	41′	42′	43′	44′	45′	46′	47′

Der Radius für die äußerste Grenze des Schleierschattens, des Halbschattens der Troposphäre, dürfte ungefähr gleich der Mondparallaxe — 2′ gesetzt werden, d. h. 12′—13′ größer als R_H.

* * *

Mit der vorliegenden Untersuchung glaube ich die natürliche Erklärung und richtige Bezeichnung für den Erdschatten, wie er beobachtet wird, gegeben zu haben. Möge die bisher unrichtige bald aus Büchern und Vorlesungen verschwinden.

[1] Siehe z. B.: Natur und Technik, Jahrg. V, Heft 11, p. 310 ff