

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München.

1908. Heft II.

München

Verlag der K. B. Akademie der Wissenschaften

1909.

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).



Beitrag zur Physik der Mondoberfläche.

Von **Hermann Ebert.**

(Mit Tafel I.)

(Eingelaufen 5. Dezember.)

1. Schon bei einer flüchtigen Beobachtung der Mondoberfläche fällt selbst unter Anwendung schwacher optischer Hilfsmittel die große Veränderung auf, welche das Aussehen derselben Mondlandschaft mit wechselndem Sonnenstande erfährt. Vor allem werden hiervon betroffen jene großen dunklen, bereits dem bloßen Auge erkennbaren, relativ ebenen Flächen, welche man als „Mare“ bezeichnet, wiewohl man sich längst davon überzeugt hat, daß von einer „Wasserbedeckung“ bei ihnen nicht die Rede sein kann. Bei niedrigem Sonnenstande, also in der Nähe der Lichtgrenze, zeichnen sich eine Reihe von größeren oder kleineren Bergen, Ringgebirgen, Kratern und Kratergruben durch ihren Schattenwurf deutlich von der Marefläche ab; die für die Mondoberfläche besonders charakteristischen Ringgebirge weisen dabei in scharfer Reliefentwicklung meist eine geringere Erhebung ihrer ringförmigen Umwallung über die äußere Umgebung auf, eine bei weitem größere Eintiefung ihres Innern unter das Niveau der Umgebung; bei den „Kratergruben“ fehlt sogar häufig die äußere Umwallung ganz, sie stellen sich einfach als kreisförmige flache Eintiefungen dar. Dazu treten in den Mareflächen noch die „Bergadern“, lang hinziehende, flache und sanft geböschte Erhebungen, welche wie Runzeln weite Gebiete durchziehen, und endlich die sich überall findenden, aber gerade an den Marerändern besonders häufigen „Rillen“, lange Spalten, welche mit Schatten

erfüllt als völlig schwarze Striche ein ganz besonders eigentümliches Merkmal der Mondoberfläche bilden.

Alle diese Details verschwinden mehr oder weniger vollkommen bei hohem Sonnenstande. An ihrer Stelle entwickelt sich in den Mareflächen ein ungeheures Gewirre von hellen Flecken und Punkten, von blendend weißen Strahlen und Linien, welche sich in einzelnen Gebieten zu ganzen Strahlensystemen zusammenschließen. Wohl nehmen häufig die hellen Flecken Stellen ein, an denen in der Nähe der Lichtgrenze ein Berg, Ringgebirge oder ein kleinerer Krater nachweisbar ist; nur in wenigen Fällen indessen entspricht der helle Fleck oder der Lichtkranz genau den Konturen der Umwallung, gewöhnlich greift der Lichtfleck über das Gebiet der Bodenerhebung beträchtlich hinaus, das Kraterinnere durch besonderen Lichtglanz auszeichnend; daneben werden aber zahllose Lichtflecke sichtbar, denen nachweislich nichts im Relief entspricht. So folgen auch die hellen Strahlen im allgemeinen durchaus nicht den Bergadern, wenn auch einzelne von diesen bei hohem Sonnenstande durch eine etwas hellere Färbung ausgezeichnet bleiben. Die Rillen werden zu feinen hellen Linien, indem ihr beleuchteter Rand heller als die Umgebung erscheint; sie treten bei höherem Sonnenstande aber mehr und mehr zurück, bei Vollmond verschwinden sie meist ganz.

Dabei wird die eigentliche Marefläche selbst noch merklich dunkler, wozu sich an einzelnen Stellen eine deutliche Farbennuance gesellt, z. B. die gelbgrünliche in der bekannten Gegend nordöstlich von dem Ringgebirgspaare Aristarch-Herodot im Oceanus procellarum. Bei photographischen Aufnahmen tritt dieses Zurückgehen der lichtreflektierenden Kraft (Albedo) in den dunklen Maregebieten bei hohem Sonnenstande ganz besonders deutlich hervor. Außerdem sieht man dann in einigen Gebieten deutliche Zeichnungen, welche bei sinkender Sonne und schräger Beleuchtung wieder gänzlich verschwinden.

2. Diese eigentümlichen Erscheinungen haben schon oft die Selenologen beschäftigt; von den zahlreichen Erklärungsversuchen verdienen wohl jene eine besondere Beachtung, welche

dem Oberflächenmateriale des Mondes, speziell demjenigen der Mareflächen eine gewisse „Pelluzidät“, „Durchscheinbarkeit“ zuschreiben. In der Tat: Vermag das Licht auch nur wenig in das Material einzudringen, in dem es eine starke Absorption erfährt, so erscheint das starke Zurückgehen der „optischen“ und noch mehr das der „chemischen Albedo“ bei höherer Beleuchtung verständlich, da es wahrscheinlich ist, daß die chemisch wirksamen Strahlen stärker absorbiert werden als die sichtbaren. Die bei hoher Beleuchtung hervortretenden hellen Strahlen konnten dann als Risse und Spalten, die weißen Flecke als Zertrümmerungsstellen gedeutet werden, denn es ist bekannt, daß ein an sich durchsichtiges Material wie Eis oder Glas stark lichtreflektierend und rein weiß erscheinend wird, wenn man es pulvert.

So dachte man sich die Mareflächen oft als große, vielfach zersprengte und etwa durch Meteorsteinsturz angeschlagene Eisdecken. In neuerer Zeit neigt man mehr zu der Annahme einer Bedeckung durch jene „natürlichen Gläser“, in welche die leichtflüssigen Laven und sauren Eruptivgesteine bei rascher Abkühlung übergehen, und die ja als „Pechsteine“, Obsidiane, Vitrophyre u. s. w. auch weite Gebiete der Erdoberfläche bedeckt haben. Schmick glaubte bei mikrostereoskopischer Betrachtung geeigneter ausgewählter Mondphotogramme sogar in den Tiefen der Mareflächen noch die Kronen der durch Magma-massen überfluteten Ringgebirge erkennen zu können.

3. Ehe man dieser Auffassung näher tritt, dürfte es angezeigt sein, erst einmal genauer zu prüfen, ob wirklich und unter welchen Bedingungen ein solcher Glasfluß die oben angedeuteten Eigentümlichkeiten zeigt, welche so charakteristisch für die dunklen Mareflächen des Mondes sind.

Zu diesem Zwecke habe ich die folgenden Untersuchungen an einem großen, aus den Glaswerken „Weitersglashütte“ im oberen Erzgebirge bezogenen Glashafen angestellt, der zirka 200 kg eines gewöhnlichen grünlichen Flaschenglases vom spezifischen Gewicht 2,52 und den Brechungsexponenten

$$n_C = 1,5208, \quad n_D = 1,5234, \quad n_F = 1,5297$$

(für die rote Wasserstofflinie, die gelbe Natriumlinie und die grünblaue Wasserstofflinie mit dem Pulfrichschen Refraktometer bestimmt) umschloß.

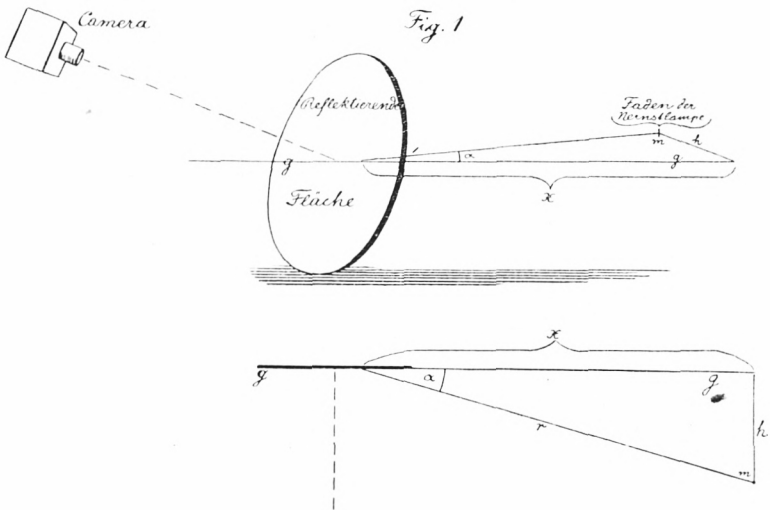
Die kreisrunde, 70 cm im Durchmesser haltende Glasoberfläche, die lange Zeit den Atmosphäriken ausgesetzt im Freien gelegen hatte, war rauh geworden und an mehreren Stellen angeschlagen; außerdem hatten an der Oberfläche kristallinische Ausscheidungen (Entglasungen) stattgefunden, welche zur Bildung weißer Flecken geführt hatten, die nachher zum Teil ausgewittert waren. Endlich durchzog ein System größerer und kleinerer Spalten und Risse den ganzen Glaskörper, die sich offenbar beim Abkühlen gebildet hatten.

Der Glashafen wurde, schwach nach hinten übergeneigt, in einem völlig geschwärzten Dunkelraume des Institutes aufgestellt; die rechte Wand des Hafens wurde bis zur Glasoberfläche niedergebroschen, so daß von dieser Seite her die Lichtstrahlen noch fast bis zu streifender Inzidenz die Glasoberfläche überstreichen konnten. Der Glasblock wurde unter verschiedenen Inzidenzwinkeln beleuchtet und mittels einer senkrecht zur Glasoberfläche in 2 m Abstand aufgestellten Kamera mit Steinheilschem Gruppen-Antiplanet (64 mm Öffnung, 400 mm Brennweite, Helligkeit 1/6,3) photographiert.

Zunächst wurde mit parallel gemachtem Lichte beleuchtet. Das Aussehen der Mondoberfläche wird aber namentlich in der Nähe der Lichtgrenze stark durch die Krümmung der Fläche beeinflusst; während an der Beleuchtungsgrenze das Licht streifend einfällt, verkürzen sich die Schatten mehr und mehr, je weiter man sich von derselben entfernt. Man müßte also eigentlich mit einer entsprechend gekrümmten Glasoberfläche arbeiten; dieselbe ist aber schwer zu beschaffen. Um den genannten Effekt wenigstens angenähert nachzuahmen, wurde mit einer Lichtquelle gearbeitet, bei der die Leuchtkraft auf eine möglichst kleine Oberfläche zusammengedrängt ist, und die wenigstens in einer Ebene einen möglichst gleich-

mäßigen Lichtfluß gewährleistete. Hier empfahl sich der Glühfaden einer Nernstlampe ohne Glasglocke, welcher sich durch seine große spezifische Helligkeit und die Konstanz seiner Leuchtkraft für diese Versuche besonders eignete. Die Fadenmitte (vgl. Fig. 1) wurde an verschiedene Stellen derjenigen durch die Mittelnormale der Glasfläche gehenden Ebene gebracht, welche auf der reflektierenden Fläche eine horizontale Gerade gg ausschnitt; der Faden selbst stand dabei immer senkrecht zu dieser Ebene. Ist dann h die senkrechte Entfernung der Fadenmitte (m) von der Geraden gg , so ist der Neigungswinkel α der Strahlen für einen Punkt der Glasfläche im Abstände x vom Fußpunkte von m auf g offenbar gegeben durch:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{h}{x}.$$



Die an dieser Stelle „indizierte Helligkeit“ (die „Stärke der Beleuchtung“) ist

$$i_x = \frac{J \cdot h}{(h^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \text{ Meterkerzen,}$$

wenn J die Leuchtkraft der Lichtquelle in Normalkerzen (Hefnerkerzen) bedeutet, und die Längen in Metern gemessen werden.

Die verschiedenen bei den Versuchen benutzten, meist mit 110 Volt Spannung betriebenen Nernstlampen wiesen Helligkeiten von 115 bis 140 Hefnerkerzen auf.

4. Schon die ersten Versuche zeigten, daß in der Tat unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen eine große Analogie besteht zwischen dem Verhalten der verwitterten Oberfläche des Glasflusses und dem oben geschilderten der dunklen Mareflächen des Mondes. Dies tritt namentlich dort hervor, wo die Oberfläche kleine Rauigkeiten zeigt, oder dann, wenn sie mit Staub bedeckt ist. Alsdann werfen all die kleinen Erhebungen bei schräger Beleuchtung Schatten und geben der Oberfläche ein graues gleichförmiges Aussehen, von dem sich die schattenwerfenden Erhöhungen und Vertiefungen außerordentlich plastisch abheben. Die Schatten der kleinen und kleinsten Rauigkeiten, welche sich auf der Oberfläche befinden decken dann alles zu, was darunter ist. Anders bei höherer Beleuchtung: Hier dringen die Strahlen zwischen den Partikelchen hindurch etwas in die Tiefe ein, wo sie entweder absorbiert oder von Diskontinuitätsflächen und an Stellen, wo Zersplitterung stattgefunden hat, reflektiert werden.

Daß die Mondmareflächen selbst dort, wo an der Lichtgrenze kein irgendwie bemerkbares Objekt den gleichmäßigen Verlauf der Fläche unterbricht, nicht glatt, sondern rau sind, gewahrt man deutlich, wenn man bei reiner und ruhiger Luft zu starken Vergrößerungen übergeht; dieser Umstand ist in der Literatur auch genügend oft hervorgehoben worden. Die Erstarrungsflächen auch dieser Magmen werden Runzeln und Unregelmäßigkeiten aufweisen, wie die aller Schmelzflüsse und die Decken erstarrter Lavaseen. Freilich könnte man auch an eine Bedeckung durch Meteorstaub und Trümmer größerer meteorischer Fremdlinge denken. Endlich wird die Mondoberfläche, wenn nicht einer „Verwitterung“ durch den Angriff von Atmosphärrillen, so doch einer „Vermorschung“ durch die enormen Temperaturwechsel ausgesetzt sein. Nachdem schon Lord Rosse Strahlungsmessungen am Monde vorgenommen hatte, die auf sehr große Schwankungen der Oberflächen-

temperatur schließen ließen, glaubt Very¹⁾ aus seinen neueren Messungen die mittägige Oberflächentemperatur nahe der Mitte der uns zugekehrten Scheibe bei Vollmond auf ca. 100° Cels. schätzen zu dürfen, während die Nachttemperatur wohl bis zur Verfestigungstemperatur der atmosphärischen Gase herabsteigen dürfte. Unter der Wirkung solcher Temperaturdifferenzen von fast 300 Grad und namentlich bei der durch keine merkliche Gas- und Dampfhülle gemilderten vierzehntägigen Insolation sowie der darauffolgenden ebensolangen Ausstrahlungsperiode muß ein allmähliches Zerbröckeln, ein „Vermorschen“ der Oberflächenpartien eintreten, wie wir es etwa in unseren Wüsten beobachten können. Um auch diese Eigentümlichkeit des Oberflächenmaterials wenigstens in Bezug auf ihre optische Wirksamkeit bei dem Modell einigermaßen nachzuahmen, wurden Bruchstücke des Glasflusses, welche sich an der rechten Seite beim Niederlegen der Hafengewand (vgl. oben S. 156) losgelöst hatten, in einem großen Mörser zu feinem Pulver zerstoßen, welches eine gelblichweiße Farbe annahm. Dasselbe wurde durch ein Gazesieb hindurch über die Glasoberfläche ausgestreut; da letztere etwas nach hinten übergeneigt aufgestellt war, hafteten die Glasstaubteilchen unmittelbar auf ihr, ohne daß es der Anwendung irgend eines Klebemittels bedurft hätte.

Läßt man die Lichtquelle sich allmählich über die Ebene der Glasoberfläche erheben, so hat man auf der Mattscheibe der Kamera in hohem Grade den Eindruck eines Sonnenaufgangs über einer Mondlandschaft. Zunächst zeichnen sich selbst feinste Reliefunterschiede durch einen scharfen Schlag Schatten von dem gleichförmigen Grau des Untergrundes ab. Ganz flache Eintiefungen, Niveauverschiebungen einzelner Schollen gegeneinander werden deutlich sichtbar, wobei der Schattenwurf sogar leicht zu übertriebenen Einschätzungen namentlich bezüglich der Tiefe der mit Nacht erfüllten Löcher gerade wie bei der Betrachtung des Mondes verleitet.

¹⁾ Frank W. Very, The probable range of temperature on the Moon. *Astrophys. Journ.* 8, Nr. 4 und 5 (Nov. und Dez.), S. 199—217 und 265—286, 1898.

In dem Maße wie die Strahlen steiler einfallen, verkürzen sich nicht nur die Schatten, sondern ändert sich allmählich der ganze Charakter der Landschaft. Von Einfallswinkeln von etwa 15 bis 20 Grad an treten nämlich helle Flecken, Streifen und Lichter hervor, die vorher gänzlich unsichtbar oder doch nur äußerst schwach angedeutet waren. Die vorher mit Schatten erfüllten Löcher nehmen einen immer größeren Glanz an, wobei aber viele glänzende Flecken hinzutreten, denen nicht das geringste im Relief entspricht; überall dort, wo die Struktur kristallinisch ist, wächst der Glanz des reflektierten Lichtes unverhältnismäßig schnell, während die Helligkeit der unverletzten ebenen Partien stark zurückgeht. Von etwa 50 Grad an überwiegt das Gewirre von hellen Flecken und Bändern so sehr, daß der Charakter des ganzen Bildes zu völliger Unkenntlichkeit verändert erscheint. Bei stark senkrechter Beleuchtung treten direkte Lichtreflexe hinzu. Bei abnehmenden Inzidenzwinkeln wiederholen sich alle diese Veränderungen in umgekehrter Reihenfolge.

Von den verschiedensten Phasen der Erscheinung wurden photographische Aufnahmen mit verschiedenen Belichtungsdauern gemacht, welche die ganze Serie dieser scheinbaren „Veränderungen“ und ihre Entwicklung zu verfolgen gestatten. Als Probe seien von den zahlreichen Photogrammen nur zwei mitgeteilt, welche auf der angefügten Tafel durch Lichtdruck vervielfältigt wiedergegeben sind. Die Lichtquelle ($J = 138 NK$) stand beidemal rechts vor der beleuchteten Fläche; bei der oberen Aufnahme (im folgenden kurz mit O bezeichnet) war $h = 0,08$, bei der unteren (U) $= 1,19 m$; dabei war das x für den linken Rand, die Mitte und den rechten Rand der horizontalen Mittellinie der Bilder für den oben dargestellten Fall niedriger Beleuchtung:

$$x_l = 1,39 \quad x_m = 1,14 \quad x_r = 0,89 m;$$

für den zweiten, der einer wesentlich höheren Beleuchtung entspricht:

$$x_l = 0,95 \quad x_m = 0,70 \quad x_r = 0,45 m.$$

Hieraus berechnet sich in runden Zahlen für das obere Bild:

$$\begin{aligned} a_l &= 3,3 & a_m &= 4,0 & a_r &= 5,1^0 \\ i_l &= 4,09 & i_m &= 7,40 & i_r &= 15,47 \text{ MK}; \end{aligned}$$

für das untere Bild:

$$\begin{aligned} a_l &= 51,4 & a_m &= 59,5 & a_r &= 69,3^0 \\ i_l &= 46,5 & i_m &= 62,4 & i_r &= 79,7 \text{ MK}. \end{aligned}$$

Die hier dargestellten Fälle würden also dem Anblicke einer Gegend in der Mitte der Mondscheibe für das bloße Auge entsprechen und zwar bei O dem zunehmenden Monde im ersten Viertel, also der ersten Frühbeleuchtung; dagegen entspricht U einem Mondalter von etwa $3/8$, also mittlerer Vormittagsbeleuchtung. Bei Betrachtung im astronomischen Fernrohre würden die Sonnenstrahlen von links her zu kommen scheinen.

Die Expositionszeiten waren für O 25 Minuten, für U dagegen nur 5 Minuten; zwischen den beiden Aufnahmen ist natürlich nicht das allergeringste an dem Glasflusse und seiner Oberfläche geändert worden; insbesondere ist auch die Bestäubung vollkommen die gleiche geblieben. Der große Unterschied in dem Aussehen desselben Objektes ist demnach lediglich eine Folge der verschiedenen Beleuchtung.

5. Bei näherer Betrachtung der beiden Bilder fällt zunächst der weiße Strich bei a auf. Hier ist ein keilförmiges Stück aus der Glasoberfläche herausgesprungen; die linke steile, fast geradlinige Abbruchwand wird schon bei O sehr steil von den Lichtstrahlen getroffen, sie hebt sich daher als hellglänzende gerade weiße Lichtlinie bereits bei niedriger Beleuchtung ab. Die Tiefe vor ihr ist in O noch mit Nacht erfüllt; erst bei der weiter vorgeschrittenen Phase U tritt der muschelige Bruch der Aussprungsfläche deutlich hervor. Bei der entgegengesetzten Beleuchtung würde die Abbruchwand selbst bei hoher Beleuchtung noch einen langen schmalen Schatten werfen, die hier tatsächlich statthabende Verwerfung würde alsdann leicht übersehen werden können.

Auf dem Monde existieren mehrere solche Abbruchswände, die bekannteste ist die „lange Mauer“ östlich von dem Ringgebirge Thebit im Mare nubium, auch die „lange Wand“ östlich von dem kleinen Ringgebirge Cauchy im Mare tranquillitatis gehört hierher, welche von den älteren Selenographen noch durchweg als Rille aufgefaßt und dargestellt worden ist.¹⁾ Nur ist an diesen Stellen nicht wie hier ein Stück aus der Mondkruste ausgebrochen, sondern es handelt sich dort offenbar um eine wirkliche „Verwerfung“ im geologischen Sinne; die beiden an der „Wand“ aneinandergrenzenden Oberflächenpartien haben eine mehr oder weniger große Vertikalverschiebung gegeneinander erlitten.

Wie die genannten Beispiele lehren, können die „Sprunghöhen“, um die die eine Scholle gegen die andere abgesunken ist, auch auf dem Monde mehrere hundert Meter betragen. Auch bei *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, sowie rechts oben bei *h* und *i* sind Stücke aus dem Glasflusse ausgesprungen; die hierdurch entstandenen Vertiefungen sind bei *O* mit Schatten erfüllt; die der Sonne gegenüberliegenden Wände glänzen auffallend hell. Bei hoher Beleuchtung sind die Vertiefungen nur noch angedeutet und würden ganz verschwinden, wenn die Lichtstrahlen noch steiler als bei *U* einfallen würden, wie dies z. B. bei *c* bereits geschehen ist.

Echte „Schollenverschiebungen“ finden sich dagegen bei *k*, *l* und *m*, was bei niederer Beleuchtung sofort an der feinen Umgrenzung erkannt wird, und zwar an der Sonnenseite an einer feinen weißen, an der Schattenseite an einer feinen schwarzen Linie, welche letztere die Konturen besonders markant heraustreten läßt. Man bemerkt, daß bei *U* von alledem nichts mehr zu erkennen ist; namentlich die Schollenbrüche bei *k* und *l* verschwinden ganz in dem allgemeinen Gewirre weißer Lichter, das dem rechten oberen, stark zertrümmerten Rande eigentümlich ist.

¹⁾ Die Zeichnung auf Tafel 22 des Mondatlas von Joh. Nep. Krieger (Triest 1898) stellt das Objekt richtig dar; in dem Texte zu diesem Blatte (S. 13) wird es auch ausdrücklich als „steile Felswand“ bezeichnet.

Isolierte Erhebungen, welche sich in O durch ihren Schattenwurf markieren, verschwinden gleichfalls in U ; als Beispiel sei das einen spitzen Schatten werfende Hügelchen ganz oben, links von dem durch das ganze Bild gehenden Striche aa erwähnt; in U ist es nicht mehr wieder zu erkennen.

Weiter fallen eine Reihe von Sprüngen auf, welche mit dem Verhalten der „Mondrillen“ große Analogien aufweisen. Bemerkenswert sind vor allem die völlig geradlinig verlaufenden aa , $\beta\beta$, $\gamma\gamma$ und die in der Mitte etwas geknickte $\delta\delta$, sowie die gekrümmten und gewundenen Rillen ϵ , ζ , η u. s. w. Sie heben sich entweder durch die helle Beleuchtung ihrer der Lichtquelle zugekehrten Wände oder durch ihren Schattenwurf ab; auch kann die eine Erscheinungsweise in die andere übergehen (vgl. z. B. in O das obere und das untere Ende von aa und die beiden Hälften von $\delta\delta$). Bei höherer Beleuchtung haben sie das Aussehen fast völlig gewechselt (vgl. z. B. $\beta\beta$ in Bild O und U). Die geradlinigen Risse gehen dabei tief hinunter und haben die ganze Masse bis fast an den Boden hinab gesprengt; die gewundenen gehören mehr oberflächlichen Partien an. Eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit sehr vieler Mondrillen besteht darin, daß sie sich zu kleinen Kratergruben erweitern, ja zum Teil ganz aus dicht aneinander gereihten äußerst kleinen Gruben bestehen. Dies kann sich im Modell natürlich nicht wiederfinden entsprechend der ganz verschiedenen Wirkungsweise der Agentien, die auf dem Monde und hier gewirkt haben; immerhin ist ein Vergleich bezüglich der Lichtreflexionsverhältnisse nicht ohne Interesse: In O befinden sich am linken Ende der Rille $\beta\beta$ und bei $\delta\delta$ in der Mitte kleine Gruben, bei denen die Rillenwände ausgesprengt sind, so daß die Rille dadurch erweitert ist; in U sieht man an den betreffenden Stellen nur helle Flecke. Auch sonst bieten diese Risse mit den Rillen manche bemerkenswerte Analogie im Verhalten gegenüber verschiedener Beleuchtungshöhe dar, welche der Kenner selbst leicht herausfinden wird.

Die kraterartigen Gruben, welche oben durch ihr mit

schwarzem Schatten erfülltes Innere ohne weiteres ins Auge springen, erscheinen unten nur als unregelmäßige helle Lichtflecke. Naturgemäß ist ohne weiteres zuzugeben, daß hier nur eine sehr entfernte Ähnlichkeit mit den „Ringgebirgen“ des Mondes vorliegt; es ist eben die Entstehungsweise der Bildungen in beiden Fällen eine total verschiedene. Im Modell haben wir es mit „Schlagspuren“ zu tun, bei den normalen Mondringgebirgen mit Bildungen ganz anderer Entstehungsart. Will man ein selenographisches Analogon heranziehen, so würden am ehesten die sog. „Kratergruben“ in Betracht kommen, runde flache Vertiefungen, bei denen die Wallentwicklung ganz oder doch fast vollkommen fehlt. Und doch besteht eine weitgehende Analogie wiederum in dem Verhalten den verschiedenen Beleuchtungsbedingungen gegenüber. Man betrachte z. B. die Landschaft bei den Gruben A und B rechts oben. Der Schattenwurf läßt in O bei A auf der oberen Umrandung der regelmäßig gestalteten Eintiefung ein kleines schattenwerfendes Hügelchen erscheinen; man erkennt, daß B im Innern unregelmäßig gestaltet ist; in U erscheinen nur zwei unregelmäßige Lichtflecke, von denen Lichtlinien ausgehen, das Hügelchen läßt sich nicht mehr identifizieren. Etwas Ähnliches gilt für die Grube G .

Besonders merkwürdig ist die Wandlung in der Gegend zwischen B und der Versenkung a . Bei tiefem Sonnenstande, also in der Nähe der Lichtgrenze, erscheint hier die Fläche in eintönigem Grau; einige winzige Hügelchen mit feinsten Kratergrübchen auf ihren Gipfeln sind eben noch zu erkennen. Bei hoher Beleuchtung erscheint dieselbe Gegend vollkommen verwandelt; weiße Flecke, deren Durchmesser aber diejenigen der Hügel selbst erheblich übertreffen, sind an deren Stelle getreten; eigentümliche, ganz regelmäßige helle Ringe sind erschienen, welche ungemein an das Aussehen vieler größerer, aber auch kleinerer Ringgebirge des Mondes erinnern, deren Wallkronen bei hohem Sonnenstande ebenfalls nur noch als helle Ringe erkenntlich bleiben. Diesen Ringen entspricht hier also nichts im Relief, ebensowenig vielen der weißen

Flecke in dieser und den benachbarten Gegenden, wie ein weiterer Vergleich der beiden Aufnahmen unmittelbar ergibt.

Man wird hier unwillkürlich an das Verhalten des in der ebenen, gleichförmig grauen oder graugrünen Fläche des Mare serenitatis gelegenen Kraters Linné erinnert; derselbe stellt sich bei niederem Sonnenstande ebenfalls als kleines Hügelchen dar, in dessen Mitte man bei guter Luft, stärkerer Vergrößerung und geeignetem Sonnenstande ein kleines schattenerfülltes Kratergrübchen erkennt; bei hohem Sonnenstande zeigt sich nur ein rein weißer, großer runder und selbst bei schwachen optischen Hilfsmitteln deutlich erkennbarer Fleck, dessen Durchmesser mit dem Sonnenstande zu variieren scheint. Die analogen Erfahrungen an dem Glasflusse zeigen, daß man hierbei noch nicht an wirkliche „physische“ Veränderungen zu denken braucht, sondern daß die lichtreflektierenden Eigentümlichkeiten durchscheinender und zertrümmerter oder kristallinisch gewordener Materialien zu solchen „scheinbaren“ Veränderungen sehr wohl Anlaß geben kann. Bei *C* zeigt in *O* eine Aufhellung im schattenerfüllten Innern eine Erhebung an, welche an eine „Terrasse“ erinnern könnte; in *U* verschwindet dieses oroplastische Element vollkommen in dem hellen Lichtfleck, der die Stelle der Grube *C* einnimmt. Die Grube *D* links ist durch eine Nebengrube ausgezeichnet; bemerkenswert ist, wie verschieden sich beide Eintiefungen der höheren Beleuchtung gegenüber verhalten: *D* selbst ist in *U* hell, die Nebengrube dagegen dunkel, sogar dunkler als die Umgebung. Gerade solche, durch ihre Schwärze bei höherer Beleuchtung auffallende Oberflächenpartien sind auch auf der Mondoberfläche vorhanden; es sei nur an die schwarzen Flecke im Alphonsus oder in der Umgebung des Kopernikus erinnert. Oben rechts von der Rille *aa* ziehen sich andere solche trotz der hohen Beleuchtung auffallend schwarze Punkte hin, die hier sogar reihenartig angeordnet erscheinen. Neben solchen sehr dunklen Punkten zeichnen sich aber an anderen Stellen einzelne Punkte durch ganz besonderen Lichtglanz aus, so daß sie leicht überexponiert werden und alsdann durch Solarisation

vergrößert erscheinen. Dies tritt dann ein, wenn spiegelnde Bruchflächen so orientiert sind, daß sie das Licht direkt gegen den Beobachter hin reflektieren; auf dem Monde scheint ja ein derartiger Fall bei dem Innern des Ringgebirges Aristarch vorzuliegen. Bei E und F finden wir Bildungen, welche an die „umhopten“ Krater erinnern; hellgraue Halos entwickeln sich bei zunehmender Sonnenhöhe rings um sie herum. Andere Beispiele dieser Art finden sich über die ganze Fläche verteilt (vgl. z. B. auch die Partie links oben bei W). Dort wo eine Bruchzone über die Oberfläche hinzieht, wird an inneren Reflexionsflächen das etwas in das Innere eingedrungene Licht bei höherer Inzidenz ziemlich stark zurückgeworfen, so daß sich dann diese Zonen durch ihren Glanz deutlich von der dunklen Umgebung abheben, während bei niederer Beleuchtung kaum etwas von ihnen wahrzunehmen ist. Eine solche Bruchzone zweigt oben rechts von aa (unterhalb b) ab. Bemerkenswert ist auch die Bruchzone, welche die Ecke zwischen $\gamma\gamma$ und aa (rechts von D und E) abschneidet.

Die bei weitem auffallendsten Objekte sind aber die überhaupt erst bei hohem Sonnenstande hervortretenden Lichtflecke und Streifen, denen garnichts im Relief entspricht, und die bei niederem Sonnenstande auch wieder vollkommen verschwinden. So sind in U die hellsten Objekte, die bei der Aufnahme überexponiert sind, die beiden länglichen Lichtflecke Y und Z rechts von G , sowie der schwach gekrümmte, in der freien Ebene rechts von c liegende Streifen, welcher letzterer freilich schon im oberen Bilde angedeutet ist. Ein ähnlicher Streifen findet sich auch in der Krümmung der Rille ζ (dort wo dieser Buchstabe in der Skelettskizze steht). Vergleicht man die entsprechenden Gegenden in O , so sieht man, daß diesen Stellen nicht die geringsten Erhebungen entsprechen. Die Streifen kommen vielmehr dadurch zustande, daß das Licht etwas in die Tiefe eindringt und hier an Spaltflächen, die unter der Oberfläche hinziehen, reflektiert wird; dabei treten diese Spaltflächen unter Umständen gar

nicht bis an die Oberfläche heran, so daß ihr Vorhandensein hier durch nichts angezeigt wird (so z. B. bei *Y* und *Z*).

Das Aussehen dieser Streifen hängt nicht nur vom Beleuchtungs- sondern auch vom Betrachtungswinkel ab, sie treten erst für den fernerstehenden Beobachter deutlich hervor, der ein größeres Flächenstück überblickt, ähnlich wie wir die Untiefen in einem See viel besser aus größerer Höhe wahrnehmen, als wenn wir am Ufer stehen oder über den See mit einem Boote fahren.

Gerade diese Eigenschaften scheinen viele von den hellen Strahlen und Streifen aufzuweisen, welche dem Vollmondbilde sein typisches Gepräge verleihen. Diese Streifen waren es ja, welche die Vermutung eines wenn auch nicht durchsichtigen, so doch wenigstens schwach durchscheinenden Materiales nahe legten und die hier beschriebenen Versuche veranlaßten. Diese zeigen nun in der Tat, daß dabei Erscheinungsformen zustande kommen, welche mit denen auf dem Monde mehr als eine nur äußerliche Ähnlichkeit aufweisen. Dies tritt erst deutlich hervor, wenn man eine Reihe von Bildern, die man bei verschiedenen Beleuchtungswinkeln und Kamerastellungen aufgenommen hat, mit einer Serie von Mondphotographien vergleicht, welche dieselbe Mondlandschaft unter verschiedenen Beleuchtungs- und Librationswinkeln zeigt. Hier hat die Photographie bereits unschätzbare Dienste geleistet, da alle zeichnerischen Aufnahmen, selbst die sorgfältigsten, die verschiedenen Helligkeitsnuancen niemals wiedergeben können, wie es zum Studium dieser Veränderungen unumgänglich notwendig ist.

Die Vergleiche, deren einzelne Aufführung an dieser Stelle zu weit führen würde, zeigen, daß auch hier Veränderungen in der Helligkeit auftreten, welche sehr wohl mit der Hypothese vereinbar sind, daß ein glasiges pelluzides Mondmaterial längs der hellen Streifen der großen „Strahlensysteme“ einen höheren Grad von Zerklüftung und Zersplitterung erfahren hat, als das umgebende dunklere Material. Da diese Zerklüftung nur die kleinsten Bausteine, das Material selbst ergriffen

hat, so braucht es nicht wunderzunehmen, daß die hellen Streifen ungestört über Berg und Tal hinweggehen und offenbar auf tiefer liegende Entstehungsursachen als sie den Oberflächen-erhebungen eigentümlich sind, hinweisen.

Bekanntlich ist der erwähnte Erklärungsversuch nicht der einzige, welcher unternommen worden ist. Einige Selenographen wollen in den genannten Gebilden lang hinziehende Streifen einer Aschen- oder Staubbedeckung erblicken. Auch für solche „Staubstreifen“ läßt sich das optische Verhalten gut an dem Modelle studieren. Einige, wenn auch nur wenige derartiger Streifen sind auf der mitgeteilten Probe erkennbar, z. B. von *D* nach oben gehend, ferner rechts von *aa* in der unteren Bildhälfte und in der rechten unteren Ecke. Dieselben treten deutlich in der hohen Beleuchtung (in *U*) hervor, in *O* sind sie nur angedeutet. Bei anderen Aufnahmen, bei denen die Bestäubung absichtlich nach dichteren und weniger dichten Streifen angelegt wurde, zeigte sich deutlich, daß das optische Verhalten derselben nicht dasjenige der hellen Strahlensysteme und ihrer Veränderungen ist. Doch fehlen auch für sie nicht die passenden Analoga auf dem Monde; ich erinnere z. B. nur an die beiden hellen Streifen, welche sich im Mare foecunditatis östlich von dem Krater Messier *A* ausbreiten; sie verhalten sich ganz wie derartige „Staubstreifen“, vielleicht dürfen wir sie als „Meteorstaubstreifen“ ansprechen.

Noch eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit sei zum Schlusse kurz hervorgehoben, welche auf den mitgeteilten Bildern ziemlich deutlich selbst noch in der Reproduktion erkennbar ist: Am rechten Rande (unterhalb der Mitte) tritt bei hoher Beleuchtung eine eigentümliche „Fluidalstruktur“ des Glasflusses zutage, von der bei niederer Beleuchtung nicht die geringste Spur zu bemerken ist. Sie erinnert lebhaft an gewisse Zeichnungen in einzelnen Maregebieten, z. B. im Sinus Aestuum nahe der Mondmitte.

Einen eigenartigen Anblick gewähren Stereoskopbilder, die man von dem Glasflusse unter verschiedenen Beleuchtungen

herstellt, besonders dann, wenn man sie auf Diapositivplatten möglichst kontrastreich kopiert und im durchfallenden Lichte betrachtet. Alsdann gewinnt man namentlich bei mikrostereoskopischer Betrachtung nicht nur den Eindruck, daß man tief in den Glaskörper hineinsieht, sondern die hellen und dunklen Zeichnungen der Oberfläche scheinen sich in die Tiefe hinein fortzusetzen. Dieser Effekt wird noch gesteigert, wenn man zwei Bilder, welche bei derselben Beleuchtung aber mit verschiedenen Kamerastellungen, die in einer den Pupillenabstand vielfach übertreffenden gegenseitigen Entfernung voneinander liegen, aufgenommen sind, im Stereoskope zu einem Bilde vereinigt. Man erhält hier denselben übertriebenen körperlichen Effekt, der für die Mondstereoskopbilder so charakteristisch ist, welche bei derselben Phase aber unter weit voneinander abweichenden Librationsverhältnissen aufgenommen sind. Hier wie dort glaubt man die hellen Streifen und Zeichnungen sich zu Gebilden zusammenschließen zu sehen, die scheinbar weit in der Tiefe unter der Oberfläche liegen. In beiden Fällen liegt eine besondere Art optischer Täuschung vor, wie sie ähnlich bei dem Helmholtzschen Telestereoskop auftritt; die Täuschung ist im Falle des Glasflusses direkt nachweisbar, in dem genannten Falle der Mondstereoskopie wenigstens sehr wahrscheinlich.

6. Für die Beurteilung der physischen Beschaffenheit einer das Licht reflektierenden Oberfläche ist es von größter Bedeutung festzustellen, ob diese Oberfläche als „zerstreut reflektierende“ angesehen werden kann oder nicht. Dabei hat als zerstreut reflektierende Fläche eine solche zu gelten, welche das unter einem beliebigen Winkel auf sie fallende Licht dergestalt zurückwirft, daß die Intensität des reflektierten Lichtes nur eine Funktion des Emanationswinkels und nicht zugleich des Azimuts ist.¹⁾

Hierdurch werden z. B. bereits alle mehr oder weniger

¹⁾ Vgl. z. B. F. Zöllner, Photometrische Untersuchungen. Leipzig 1865, S. 18.

vollkommen spiegelnden Flächen ausgeschlossen. Die Helligkeitsveränderungen, welche eine zerstreut reflektierende Oberfläche bei verschiedenen Inzidenz- und Emanationswinkeln des ein- und ausstrahlenden Lichtes zeigt, ist charakteristisch für die Natur und physikalische Beschaffenheit jener Oberfläche (Zöllner, a. a. O., S. 28).

Unter den verschiedenen Arten der Abhängigkeit der zerstreut reflektierten Lichtmenge vom Emanationswinkel, welche aufgestellt worden sind, spielt das sog. Lambertsche Gesetz eine besondere Rolle: Wird ein als eben zu betrachtendes Flächenelement von der Größe df aus einer Entfernung r und unter dem Inzidenzwinkel i von einer als punktförmig gedachten Lichtquelle von der Intensität J bestrahlt, so ist nach diesem Gesetze die unter dem Emanationswinkel e die Fläche verlassende reflektierte Lichtmenge zu setzen:

$$J_r = \frac{J}{r^2} \cos i \cos e.$$

Streng genommen wird dieses Gesetz von keiner reflektierenden Oberfläche für alle Wertpaare von i und e genau erfüllt; es stellt vielmehr eine Art ideellen Grenzfalles dar, doch sind gerade die Abweichungen im Verhalten der zerstreut reflektierenden Flächen von diesem Gesetze sowie der Sinn dieser Abweichungen für die Natur der einzelnen Flächen ein wertvolles Kennzeichen.

Soviel mir bekannt ist, sind für einzelne engbegrenzte Gebiete der Mondoberfläche z. B. die dunklen Mareflächen detaillierte Messungen des bei verschiedenen Beleuchtungswinkeln von ihnen reflektierten Lichtes und ein Vergleich mit irdischen Substanzen noch nicht angestellt worden; seither liegen nur Messungen über das gesamte, von den Mondphasen reflektierte Licht vor; außerdem sind die C. W. Pickering'schen vergleichenden Messungen einer größeren Anzahl von Punkten der Mondoberfläche zu erwähnen, welche bereits zeigen, wie enorme Unterschiede in der lichtreflektierenden Kraft bei den verschiedenen Oberflächenmaterialien vorkommen. Gerade solche

Vergleichungen wären für das Studium der physischen Beschaffenheit der Mondoberfläche von größtem Werte. Indessen ist schon nach dem eingangs geschilderten allgemeinen Verhalten in der Helligkeit für die dunklen Maregebiete wenigstens eine große Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß sie dem Lambert'schen Gesetze nicht folgen. Bereits Zöllner schloß aus dem starken Anwachsen der Mondhelligkeit zur Zeit der genauen Opposition, daß „die Mondoberfläche wenigstens zum Teil aus einem nicht nur zerstreut reflektierenden, sondern gleichzeitig partiell spiegelnden Stoffe bestehe“ (a. a. O., S. 111).

Das starke Zurückgehen der Mareflächen auf den Photographien bei einigermaßen höherer Beleuchtung gegenüber der optischen Helligkeit läßt schon ohne weiteres vermuten, daß die Abweichungen für die chemisch wirksamen Strahlen besonders ausgesprochen sind.

Es war daher von Interesse zu untersuchen, wie sich der Glasfluß in dieser Hinsicht verhalte. Aus letzterwähntem Grunde habe ich von einer Photometrierung Abstand genommen und das photographische Vergleichsverfahren angewendet. Zu diesem Zwecke wurde eine besonders ebene schmale vertikale Zone des Glasflusses abgegrenzt und bei verschiedenen Stellungen des vertikalen Glühfadens der Nernstlampe beleuchtet; die Stellungen wurden so ausgewählt, daß der Ausdruck $\frac{\cos i}{r^2}$ denselben Wert besaß; die Kamera wurde dem abgegrenzten Oberflächenstücke senkrecht (in 2 m Abstand) gegenüber aufgestellt, so daß also bei allen Versuchen $e = 0^\circ$ war. Benutzt wurde also die in der Normalenrichtung reflektierte Lichtmenge

$$J_n = \frac{J}{r^2} \cos i.$$

An Stelle der Kasette war eine Platte mit vertikalem schmalen Ausschnitte in die Kamera eingesetzt; die Mitte des Ausschnittes fiel genau mit der Achse des photographischen Objectives zusammen; der Ausschnitt ließ gerade das studierte

Flächenstück erscheinen. Hinter dem Ausschnitte wurden die photographischen Platten angebracht. Nach jeder Aufnahme mit einem Wertpaare (i , r) wurde die Platte verschoben und nun auf derselben Platte eine andere Aufnahme mit anderer Stellung der Lichtquelle (aber bei derselben indizierten Helligkeit) gemacht. Es ist wichtig, daß die verschiedenen Teile derselben Platte auch an dieselbe Stelle der Abbildungsebene gebracht werden, da die Bildhelligkeit bekanntlich rasch abnimmt, wenn man sich aus der Objektivachse seitlich entfernt. Da auch die übrigen photographischen Operationen, namentlich die Entwicklungsdauer, für die verschiedenen Teile derselben Platte genau gleichgestaltet werden konnten, so durften die Bedingungen der Bilderzeugung als vollkommen identisch angesehen werden. Die Konstanz der Intensität J der Lichtquelle wurde durch häufige Vergleiche mit der Amylacetatseinheitslampe unter Kontrolle gehalten. Waren die gegen das Objektiv gesendeten Lichtströme in einem Versuche

$$J_{n1} = \frac{J}{r_1^2} \cos i_1,$$

bei einem anderen

$$J_{n2} = \frac{J}{r_2^2} \cos i_2,$$

so war auf einen gleichen Grad der Plattenschwärzung an den beiden entsprechenden Plattenstellen zu rechnen, wenn die Expositionszeiten t_1 und t_2 so gewählt wurden, daß

$$J_{n1} \times t_1 = J_{n2} \times t_2$$

gemacht war, vorausgesetzt, daß man sich innerhalb derjenigen Schwärzungsgrenzen hielt, in denen bei der gewählten Plattensorte und dem verwendeten Entwickler das „Reziprozitätsgesetz“ mit hinreichender Genauigkeit gilt.

Dieses Gesetz, demzufolge eine exponierte photographische Platte caet. par. dieselbe Schwärzung aufweisen sollte, wenn das Produkt von auffallender Lichtmenge und Expositionsdauer denselben Wert besitzt, gilt bekanntlich nur in einem eng-

begrenzten Bereiche. Nachdem bereits früher Michalke Abweichungen bei schwachen, Abney bei intermittierenden Belichtungen nachgewiesen hatte, hat Schwarzschild¹⁾ durch eine sehr eingehende Untersuchung gezeigt, daß das Gesetz überhaupt nicht streng gilt, sondern durch ein allgemeineres Schwärzungsgesetz

$$s = J \cdot t^p$$

zu ersetzen ist, in welchem p eine von der Plattensorte abhängige Konstante bedeutet. Durch eine Voruntersuchung mußte daher zunächst für die verwendeten „Reformplatten“, dieser Plattenfaktor ermittelt bzw. festgestellt werden, innerhalb welcher Belichtungsgrenzen eine Abweichung von dem einfachen Reziprozitätsgesetze unterhalb der Genauigkeitschwelle des Vergleichsverfahrens bliebe. Dazu wurden die Entfernungen derselben Lichtquelle bei senkrechter Inzidenz variiert und die Expositionsdauern den verschiedenen einfallenden Lichtmengen entsprechend verändert, so daß gleiche Produktwerte für die verschiedenen Teile derselben Platte in Betracht kamen.

Bei der unter verschiedene Beleuchtungsverhältnisse versetzten Glasoberfläche wurden alsdann nur solche Werte r und i und entsprechende Expositionsdauern verwendet, welche Schwärzungen innerhalb der durch die Vorversuche erhaltenen Skala lieferten. Außerdem wurde des Vergleichs halber zu der oben erwähnten seitlichen Abdeckung rings um das studierte Flächenstück herum ein Material verwendet, für welches wenigstens innerhalb großer Grenzen das Lambertsche Gesetz angenähert Gültigkeit besitzt: ein weißer, ganz weicher und rauher „Löschkarton“.

Zahlreiche, in dieser Weise vorgenommene Aufnahmen haben nun das unzweifelhafte Resultat ergeben, daß für die in Rede stehende Oberfläche das Lambertsche Gesetz durchaus nicht gilt und zwar auch dann nicht, wenn die Ober-

¹⁾ Karl Schwarzschild, Beiträge zur photographischen Photometrie der Gestirne. Publikationen der v. Kuffnerschen Sternwarte. Wien 1900, 5. Band, pp. 139, 4^o.

fläche ziemlich dicht bestäubt ist. Vielmehr ergeben sich Abweichungen genau in demselben Sinne, in dem sie bei der Mondoberfläche offenbar vorliegen. Die Rolle, welche der Staub hierbei spielt, scheint ferner in der Tat eine solche zu sein, wie sie oben (S. 158) angenommen wurde: Gegenseitige Beschattung und zerstreute Reflexion bei niedriger Beleuchtung, Durchlässigkeit bei höherer Beleuchtung, so daß erst bei dieser der photometrische Charakter des Untergrundes zur Geltung kommt. Dieser bedingt zunächst ein starkes Zurückgehen der reflektierten Lichtmengen infolge teilweisen Eindringens der Strahlung und damit verbundener Absorption; nur die in den dunklen Flächen sich entwickelnden hellen Streifen und Lichtflecke erhöhen ihre Helligkeit, erstere zum Teil weit schneller, als dem Lambertschen Gesetze entsprechen würde.

Bei ihnen tritt, wie oben (S. 166) bereits erwähnt wurde, zum Teil eine Spiegelung an Spaltungsflächen im Innern ein. Die hellen Streifen und Flecken verdanken daher ihre starke lichtreflektierende Kraft ihrem aufgelöstsein in kleine und kleinste Splitter. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhange eine Bemerkung von Zöllner (Photometrische Untersuchungen, S. 278): „Hierdurch würde also jener weiße Körper, welcher die hellsten Stellen der Mondoberfläche bedeckt, noch die nähere Bestimmung erhalten, daß derselbe von partiell spiegelndem, kristallinischen Gefüge sein müsse.“

Bei nahezu senkrechter Inzidenz (also in der Nähe der „Opposition“) tritt aber ein erhebliches in die Höhegehen der Albedo auch bei den dunklen Flächen ein, ebenfalls infolge teilweisen Spiegeleffektes. Der Glasfluß verhält sich sonach wenigstens qualitativ auch in dieser Beziehung den dunklen Mareflächen ganz analog; ein weiteres Eingehen auf Einzelheiten dieses Verhaltens und auf die quantitative Seite wäre vorläufig noch verfrüht, ehe nicht detaillierte Messungen von der Mondoberfläche vorliegen, welche wohl am besten nach dem von K. Schwarzschild ausgearbeiteten photographisch-photometrischen Verfahren mittels geeichten Schwärzungskeiles und Hartmannschen Mikrophotometers durchzuführen wären.

7. Zum Schlusse möge noch die Frage gestreift werden, wie die Ergebnisse der vorstehend geschilderten Versuche mit unseren sonstigen Kenntnissen über die Natur des Mondmaterials zusammenstimmen. Auch hierbei wollen wir uns im vorliegenden beschränken auf die Betrachtung der großen dunklen Flächen, die man als Mare zusammenfaßt. Daß man schon lange von der Vorstellung einer wirklichen Wasserbedeckung abgekommen ist, wurde bereits oben erwähnt.

Aber einerseits hat man auch heute noch vielfach an eine Eisbedeckung, also an „zugefrorene Meere“ gedacht, andererseits in den Marebecken „ausgetrocknete Meere“ mit ihren Schlammabsätzen erblicken wollen.

Wenn man indessen die in Rede stehenden Mondregionen einem eingehenden Studium unterzieht und namentlich auch das Material der photographischen Aufnahmen vergleichend zusammenstellt, so wird man immer mehr zu der Vorstellung gedrängt, daß man in den Marebildungen des Mondes wohl „Überflutungs-Erscheinungen“ vor sich hat, aber nicht von Wasser, sondern von glutflüssigen, aus dem Innern hervorgedrungenen, leicht flüssigen, aber schnell erstarrten Magma- oder Lavamassen. Denn ringsum haben diese Massen an den Grenzen ihres Vordringens deutliche Spuren des „Abschmelzens“ der Mareränder hinterlassen. Ich habe diese Ansicht schon früher ausgesprochen¹⁾ und sehe mit Freuden, daß vorzügliche Kenner des Mondes, wie die Herausgeber des großen Pariser Mondatlas, Loewy und Puiseux, ebenso wie der Altmeister der Geologie, Eduard Sueß,²⁾ augenscheinlich unabhängig von meinen vorausliegenden Versuchen und Erörterungen zu ganz ähnlichen Vorstellungen gelangt sind.

An vielen Marerändern finden sich unverkennbare Hinweise, daß hier frühere Ringgebirge an- und teilweise oder fast

¹⁾ H. Ebert, Ein Vorlesungsversuch aus dem Gebiete der physikalischen Geographie (Bildung der Schlammvulkane und der Mondringgebirge). Ann. der Phys. u. Chem. 41, S. 351—363, vgl. hier S. 359, 1890.

²⁾ Ed. Sueß, Einige Bemerkungen über den Mond. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad., math.-naturw. Kl. 104, Abt. I, S. 21—54, 1895.

vollkommen eingeschmolzen sind. Dadurch bedingte „Ringgebirgsruinen“ finden sich in ganz typischer Form am Rande des Mare crisium, am Westrande des Mare serenitatis, im Mare nectaris (wo Fracastor ein überaus charakteristisches Beispiel darstellt) und ringsum an den Ufern des Mare humorum. Dort, wo dem Vordringen der Lava durch ältere bereits erstarrte und verfestigte Schollen und Gebirge Halt geboten wurde, finden sich ganz charakteristische Böschungsverhältnisse. Ein Niederschmelzen vielleicht eines uralten Stückes der „Panzerdecke“, das aus seiner Lage gekippt ist, haben wir am Steilabhänge des Apenninengebirges vor uns, wo uns die den Hochgipfeln Bradley und Huygens vorgelagerten niedrigeren Höhenzüge wie Bruchstücke der großen Scholle erscheinen, welche noch zum Teil aus dem erstarrten Lavasee des Mare imbrium herausragen. Auch die „Faben“, die charakteristischen Helligkeitsstufen an den Marerändern deuten auf diesen Prozeß hin. An einer Stelle hervorbrechend, vermochten diese Lavamassen vermöge ihres großen Wärmeinhaltes sich ringsum ein mehr oder weniger kreisähnliches Bett auszuschmelzen, ehe sie erstarrten; daher die charakteristische runde Form vieler, namentlich der kleineren und augenscheinlich jüngeren Mareflächen.

Auch für die Ursache des Hervorquellens dieser Magmamassen finden wir Andeutungen, wenn wir die Geschichte des Mondes rückwärts verfolgen, etwa an der Hand der grundlegenden Arbeiten von George Darwin. Hatte der Mond je eine relative Achsendrehung gegenüber der Erde, so waren seine magmatischen Massen starken Gezeitenwirkungen unterworfen, deren Gesamthub im umgekehrten Verhältnisse der dritten Potenz zu dem ehemals geringeren Mondabstande gesteigert war. In der Äquatorgegend müssen wir also ein Gebiet großartiger Zertrümmerungen und Überflutungen durch magmatische Massen für die weit zurückliegenden Epochen der Mondentwicklung annehmen. In der Tat hat ja neuerdings Franz gezeigt, daß der „Maregürtel“ nahezu einem größten Kreise folgt. Daß derselbe nicht mit dem heutigen Mondäquator zusammenfällt, kann sehr wohl aus einer allmählichen

und späteren Achsenverlegung des Mondkörpers erklärt werden, von der Darwin gezeigt hat, daß sie als eine Folge von „Gezeitenreibung“ anzusehen ist.

Verhältnismäßig rasch müssen die an die Oberfläche gedrängten Lavamassen erstarrt sein. Bedenkt man, daß das für die Abkühlung eines Weltkörpers in erster Linie maßgebende Verhältnis von Oberfläche zur Gesamtmasse für den Mond rund sechsmal so groß als für die Erde ist, so erkennt man, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit auch dieser aus dem Innern emporgepreßten Schmelzflüsse eine sehr erhebliche gewesen sein muß. Dazu kommt noch der Mangel einer vor Ausstrahlung schützenden Atmosphäre, die auf dem Monde, wenn überhaupt je in ausgedehnterem Maße vorhanden, doch nie den Betrag an Dichte und Höhe erreicht haben kann, wie auf der Erde. Die leichten, der Oberfläche des mit einer Erstarrungskruste sich bedeckenden alternden Mondes zunächst liegenden Laven werden wie unsere Pechsteine, Obsidiane und Vitrophyre infolge der raschen Erstarrung glasartige Erstarrungsprodukte geliefert haben.

Leider versagt beim Versuche, näher in die chemische wie physikalische Natur dieser Produkte einzudringen, gerade dasjenige Hilfsmittel, welches uns sonst sichere Kunde von der stofflichen Beschaffenheit fremder Weltkörper unter Vermittlung des Lichtstrahles gibt, das Spektroskop, hier vollständig. Dagegen vermögen außer der lichtreflektierenden Kraft, der Albedo, welche Zöllner im Mittel gleich derjenigen des Sandsteines oder Tonmergels findet, noch die Polarisationsverhältnisse des reflektierten Lichtes einigen Anhalt zu geben.

J. J. Landerer¹⁾ bestimmte den prozentualen Betrag an linear polarisiertem Lichte, welcher in dem vom zu- oder abnehmenden Monde nach dem Beobachtungsorte hin reflektierten Gesamtlichte enthalten ist mit Hilfe des Cornuschen Photopolarimeters. Bei demselben wird das durch eine viereckige

¹⁾ J. J. Landerer. Sur l'angle de polarisation de la Lune. Compt. rend. 109, S. 360–362, 1889, II.

Blendenöffnung gegangene Licht mittelst eines Wollastonschen Prismas in zwei getrennte Strahlenbündel zerlegt, welche senkrecht zueinander polarisiert sind; die Polarisationssebene des einen Bündels wird in die Reflexionsebene gebracht. Dann zeigen die nebeneinander liegenden Bilder der Blendenöffnung einen um so größeren Helligkeitsunterschied, je größer der Anteil an polarisiertem Lichte in dem untersuchten Strahlenbündel ist. Werden die beiden Bilder also durch ein um seine Achse drehbares Nicol gleich hell gemacht, so kann man aus dem dazu nötigen Drehungswinkel auf diesen Anteil schließen.

Bei den Landererschen Messungen war das Polarimeter an einem Fernrohre von nur 108 mm Öffnung montiert; die Blendenöffnung desselben war so weit, daß bei zunehmendem Monde das Gesamtareal der *Maria nectaris*, *foecundidatis*, *crisium* und *tranquillitatis* umfaßt wurde, bei abnehmenden dasjenige des *Mare humorum*, *Oceanus procellarum* und des *Mare imbrium*. Indem die Einzelbeobachtungen der elf Beobachtungsreihen graphisch aufgetragen wurden (Abszisse: die Winkel zwischen den Richtungen: Erdmittelpunkt nach dem Mond- und nach dem Sonnenzentrum hin, Ordinaten: die prozentualen Anteile an polarisiertem Lichte), ergaben sich für zu- und abnehmenden Mond zwei Kurven von analogem Verlaufe, die für Winkel von $33^{\circ} 17' (\pm 7')$ ein Maximum zeigten, welches für das letzte Viertel höher lag als für das erste (offenbar weil im ersteren Falle größere Distrikte an Mareflächen Beiträge lieferten). Die Polarisation in unserer eigenen Atmosphäre wurde dabei in Abzug gebracht, so daß wir in dem genannten Betrage einen mittleren Wert für den Polarisationswinkel (von der reflektierenden Fläche aus gerechnet) desjenigen Materiales erblicken dürfen, welches den grauen Boden der Mareflächen bildet.

In einer zweiten Arbeit hat dann Landerer¹⁾ eine Reihe von Eruptivgesteinen auf ihre Polarisationswinkel hin untersucht. Dieselben waren eben angeschliffen und, um die Korn-

¹⁾ J. J. Landerer, Sur l'angle de polarisation des roches ignées et sur les premières déductions sélénologiques qui s'y rapportent. *Compt. rend.* 101, S.210—212, 1890, II.

verschiedenheiten der makroskopischen Struktur zu einem mittleren Eindruck auszugleichen, auf eine Drehscheibe aufgekittet worden, welche in rasche Umdrehung versetzt wurde; das kleine, mit dem analysierenden Nikol versehene Fernrohr wurde auf eine vom Zentrum hinreichend weit entfernte Zone eingestellt. Auffallend ist, wie gut die Einzelwerte für verschiedene Proben verschiedener Herkunft bei derselben Gesteinsart untereinander übereinstimmen, so daß man in der Tat den Eindruck gewinnt, als ob die Größe des Polarisationswinkels als ein das betreffende Material von anderen Materialien hinreichend scharf unterscheidendes Merkmal aufgefaßt werden könne. Das Gestein, welches einen dem gefundenen Mondpolarisationswinkel am nächsten kommenden Winkel ergibt, ist nun bemerkenswerterweise gerade der Vitrophyr ($P_{\text{Mond}} = 33^{\circ} 17' \pm 7'$, $P_{\text{Vitrophyr}} = 33^{\circ} 18' \pm 2'$, während z. B. Basalt $31^{\circ} 43' \pm 3'$, Granit $32^{\circ} 20' \pm 5'$ und Eis $37^{\circ} 20' \pm 5'$ liefern). Wenn man diesen Zahlen auch nicht ein allzu großes Gewicht beimessen und den Wunsch hegen wird, derartige Messungen noch in ausgedehnterem Maße und speziell (bei langen Fokalweiten und damit großen direkten Vergrößerungen) für ganz bestimmte Marestellen ausgeführt zu sehen, so dürften diese Zahlen doch bereits die Hypothese einer „Eisbedeckung“ ausschließen und definitiv auf die „natürlichen Gläser“, etwa die glas- oder pechsteinartig rasch erstarrten sauren und leichten Sanidin-Eruptivgesteine hinweisen.¹⁾

¹⁾ Unmittelbar nachdem ich die oben dargestellten Ergebnisse in der Sitzung der Akademie vorgelegt hatte, machte mich Herr Geheimrat von Groth darauf aufmerksam, daß man in der Tat glasig erstarrte Schmelzflüsse gefunden habe, deren meteorischer Ursprung jetzt außer jeden Zweifel gestellt ist; es sind dies die sog. „Bouteillensteine“ oder „Tektite“, von denen Franz E. Sueß in seiner umfassenden Monographie (Jahrb. der k. k. Geol. Reichsanstalt, 50, 2. Heft, S. 193—382, 1900) je nach den Hauptfundorten drei Arten unterscheidet: die „Moldavite“, „Billitonite“ und die „Australite“. Wenn wir uns auch heute nicht mehr der ehemals weitverbreiteten Ansicht anschließen, daß die Meteorsteine Auswürflinge der Mondvulkane seien, so ist doch der Nachweis, daß solche Glasflüsse wirklich im Weltenraume vorkommen, für die obigen

Hieraus ergibt sich, daß auch die letzterwähnten Tatsachen durchaus im Sinne der hier näher begründeten Anschauung liegen: Wir haben in den dunklen Mareflächen des Mondes Überflutungen durch magmatische Massen vor uns, welche infolge rascher Abkühlung glasig erstarrt sind; ihre glasige Struktur verleiht ihnen einen gewissen Grad von oberflächlicher Pelluzidität.

Nehmen wir dies an, so erklären sich viele von den wunderbaren „Veränderungen“ in dem Aussehen der Mondlandschaften bei verschiedenen Beleuchtungen ziemlich leicht und ungezwungen in der oben näher ausgeführten Weise.

München, November 1908.

Ausführungen nicht ohne Interesse. Im Zusammenhange mit der vorliegenden Untersuchung war es namentlich von Wichtigkeit, über die seither, wie es scheint, noch nicht genauer festgestellten optischen Eigenschaften dieser meteorischen Gläser nähere Auskunft zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurde dem Verfasser von Herrn Geheimrat von Groth in liebenswürdigster Weise ein Stück ganz sicher echten Moldavites mit der Erlaubnis zur Verfügung gestellt, matte und ebene Flächen an demselben anzuschleifen. Das optische Verhalten zeigte nicht nur mit demjenigen des benutzten künstlichen Glasflusses, sondern vor allem auch, was hier am meisten in die Wagschale fällt, mit demjenigen des Mondmaterials selbst, soweit wir über dasselbe ein Urteil gewinnen können, auffallende Ähnlichkeit. So ergab sich der Polarisationswinkel zu $33^{\circ} 43'$, was von dem von Landerer gefundenen Maximalwerte $33^{\circ} 24'$ für den Mond nur um $\frac{1}{3}$ Grad abweicht; auch die Albedo scheint sich von derjenigen der dunklen Mareflächen nicht allzuweit entfernt zu halten, soweit hierüber zunächst Schätzungen einen ersten Anhalt zu bieten vermögen; endlich erinnert die dunkelgrüne Farbe des reflektierten Lichtes lebhaft an die charakteristische Marefärbung. Die Untersuchungen sollen daher namentlich nach der spektrophotometrischen Seite hin fortgesetzt werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München](#)

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [1908](#)

Autor(en)/Author(s): Ebert Hermann

Artikel/Article: [Beitrag zur Physik der Mondoberfläche 153-180](#)